المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج



تخصص التقنية المدنية

شبكات المياه والصرف الصحي

٢٥٤ مدن

طبعة ١٤٢٩ هـ

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " **شبكات المياه والصرف الصحي** " لمتدربي تخصص " **التقنية المدنية**" في الكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه؛ إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

الحمد لله كما علمنا أن نحمد، والصلاة والسلام على نبينا محمد، وعلى آله وصحبه وسلم تسليماً كثيراً إلى يوم الدين، ثم أما بعد:

فقد عملت المؤسسة العامة للتدريب التقني والمهني على تغيير وتطوير الخطط التدريبية بجميع وحداتها التدريبية من معاهد تدريب مهنية وكليات تقنية، وذلك تمشياً مع احتياجات سوق العمل وتحقيقاً لبرنامج السعودة الذي تسعى حكومة المملكة العربية السعودية إلى تحقيقه، وحتى لتتم مواكبة الثورة المعلوماتية والتقنية التي تتسابق إليها بلدان العالم في شتى المجالات.

إن تأليف هذه الحقيبة "شبكات المياه والصرف الصحي" هو ضمن سلسلة من الحقائب التدريبية التي تتطلبها الخطة الدراسية لتخصص التقنية المدنية الذي يتبع قسم التقنية المدنية والمعمارية بالكليات التقنية، حيث تأتي هذه الحقيبة ضمن مجموعة من الحقائب التدريبية التي تميزت بها هذه الخطة، ولم تتضمنها الخطط التدريبية الماضية.

تقدم هذه الحقيبة أهم الأساسيات التي يحتاجها مساعد المهندس المدني عندما يتولى مهام الإشراف على مشاريع التشييد المرتبطة بأعمال المياه، كما هو الحال في مشاريع تمديدات مياه التغذية وتصريف مياه السيول والصرف الصحي.

تحتوي هذه الحقيبة التدريبية على ستة فصول، حيث يقدم الفصل الأول مقدمة مختصرة عن ميكانيكا الموائع والهيدرولوجيا، يكمن الهدف منها في مساعدة المتدرب على فهم باقي فصول المقرر. وتركز هذه المقدمة على حركة وانسيابية المياه في الأنابيب والقنوات المفتوحة وأهم المعادلات الرياضية التي يمكن تطبيقها عليها.

ويشتمل الفصل الثاني على الدراسات الأولية لشبكات توزيع المياه، حيث يتطرق إلى مصادر المياه المختلفة، وكيفية حساب التعداد السكاني الحالي والمستقبلي للمنطقة المعنية من أجل حساب معدلات الاستهلاك الحالية والمستقبلية للمياه، وتحديد الطرق المناسبة لتجميع وتوزيع المياه.

ويحتوي الفصل الثالث على أسس التصميم الهندسي لشبكات توزيع المياه، حيث يتطرق إلى طرق تخطيط شبكات التوزيع وحساب أقطار المواسير وتحديد ميولها، بالإضافة إلى طرق تنفيذ مشاريع الشبكات وصيانتها.

ويقدم الفصل الرابع أهم الأساسيات اللازمة لعملية تصريف مياه السيول، ومنها حساب كميات السيول لمنطقة معينة، وتحديد غزارة سقوط الأمطار والأوقات اللازمة لتجميعها في مصارفها. كما يقدم هذا الفصل عرضاً مبسطاً عن كيفية تصميم مجاري السيول من حيث تحديد أقطارها وسرعة تدفق المياه بها.

ويحتوي الفصل الخامس على مبادئ في شبكات تصريف مياه الصرف الصحي، حيث يتطرق إلى أنواع المخلفات السائلة المطلوب تصريفها، وطريقة حساب معدلات تدفقها، وعملية تخطيط وتصميم شبكات التصريف، وأنواع المواسير المستخدمة فيها.

أما الفصل السادس فيتطرق إلى أنواع المضخات المستخدمة في شبكات توزيع المياه وكيفية اختيار المناسبة منها للمشروع وكيفية حساب قدرتها وكفاءتها.

وتتضمن هذه الحقيبة على بعض الأمثلة والصور والأشكال والجداول التوضيحية، والتي تساعد على فهم الأسس العلمية لمحتوياتها. وقد أخذ إخراج هذا المقرر الكثير من الجهد والوقت حتى يظهر بالمستوى المطلوب وحتى يحتوي على مادة علمية تتناسب مع مستويات طلاب الكليات التقنية، راجين من الله أن يجعل فيه النفع والفائدة.

والله ولي التوفيق، ، ،

شبكات المياه والصرف الصحي

الموائع

الوحدة الأولى : الموائع

الجدارة:

الإلمام ببعض المبادئ الأساسية في كل من ميكانيكا الموائع والهيدرولوجيا حتى تساعد المتدرب في فهم محتويات المقرر المرتبطة بشبكات المياه والصرف الصحي.

الأهداف:

بنهاية هذا الفصل يكون المتدرب لديه القدرة بإذن الله على معرفة:

١. الخواص الأساسية للمائع.

٢. الضغوط التي تولدها الموائع.

٣. حركة الموائع في المواسير والقنوات المفتوحة

٤. حركة المياه وكيفية تطبيق المعادلات اللازمة لذلك.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء الفصل: ٦ ساعات.

الوحدة الأولى: الموائع

١- ١ مقدمة

يعد كل من علم ميكانيكا الموائع وعلم الهيدرولوجيا (علم المياه) من العلوم التي تحظى باهتمام الكثير من العلماء والباحثين نظراً لما لهذين العلمين من أهمية بالغة في حياة الإنسان وتقدمه الحضاري. كما أنهما من الركائز التي قامت عليها بعض العلوم الهندسية ومنها المدنية والميكانيكية والكيمائية وارتبطت بعلوم أساسية أخرى مثل الجيولوجيا والفيزياء والأرصاد الجوية. وتعتمد بعض مشاريع التشييد على دراسة ميكانيكا الموائع وعلم المياه كما هو الحال في مشاريع شبكات المياه والسيول والصرف الصحي، ومشاريع السدود والقنوات المائية ومحطات التحلية.

١- ٢ وحدات النظام العالمي

من المناسب أن تستخدم وحدات النظام العالمي لوصف حالة الموائع بصفة عامة والمياه بصفة خاصة، وفي هذه الحقيبة التدريبية يمكن استعمال الوحدات الأساسية الموضحة في الجدول (١- ١).

الجدول (١- ١): وحدات المتغيرات في النظام العالمي.

الكمية	وحدة القياس
الزمن (t)	ثانية (s)
المساحة (A)	م٢ (m^2)
الحجم (V)	م٣ (m^3)
الكتلة (M)	كجم (kg)
القوة (F)	نيوتن (N)، كيلو نيوتن (kN) 1 kN = 1000 N, 1 kg = 9.81 N
السرعة (v)	م/ث (m/sec)
العجلة (g)	م/ث٢ (m/sec^2) عجلة الجاذبية = ٩,٨١ م/ث٢
التدفق (Q)	م٣/ث (m^3/sec)
الضغط (P)	باسكال (نيوتن/م٢) أو $Pa = N/m^2$ كيلو باسكال (كيلو نيوتن/م٢) أو $kPa = kN/m^2$ ميجا باسكال (نيوتن/مم٢) أو $MPa = N/mm^2$ kPa = 1000 Pa
الشغل (W)	نيوتن × متر، (N.m)

١- ٣ الخواص الأساسية للموائع

إن الموائع بأنواعها المختلفة ومنها المياه لها خواصها التي تميزها عن غيرها من المواد الصلبة والغازية، ومن أبرز هذه الخواص:

١. قدرتها على الانسياب.

٢. قدرتها على التشكل بحسب الأوعية التي تشغلها.

٣. قابليتها على الانضغاط وتأثرها بأي قوة قص.

٤. احتوائها على أسطح حرة.

١-٣-١ كثافة المائع

تعرف كثافة المائع بأنها كتلة وحدة الحجم من هذه المادة وتقاس بالوحدة $\rho = kg/m^3$. وتتأثر كثافة أي سائل بدرجة الحرارة، فعلى سبيل المثال تكون كثافة الماء $1000\ kg/m^3$ أو $1\ gm/cm^3$ عند درجة حرارة $4^{o}C$.

$$\rho = \frac{Mass}{Volume} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

١-٣-٢ الوزن النوعي للمائع

يعرف الوزن النوعي للمائع بأنه وزن وحدة الحجم من هذه المادة ويقاس بالوحدة kg/m^3 حيث:

$$\gamma = \frac{Weight}{Volume} = \frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}}$$

وبمعرفة كثافة المائع (ρ) يمكن تحديد وحدة وزنه النوعي (γ) وذلك وفق العلاقة التالية:

$$\gamma = \rho g \qquad (١-١)$$

حيث: ($g = 9.81\ m/s^2$) تمثل تسارع الجاذبية الأرضية.

١-٣-٣ لزوجة المائع

تنشأ خاصية اللزوجة من خلال ارتباط جزيئات السائل ببعضها البعض، وتعرف على أنها مقدار مقاومة السائل لمقاومة القص، وتتناقص لزوجة السائل بتزايد درجة الحرارة، وتستنتج من العلاقة التالية:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad (١-٢)$$

حيث:

ν = معامل اللزوجة الكينماتيكية (m^2/s)

μ = معامل اللزوجة الديناميكية ($Pa.s$) أو ($N.s/m^2$)

ρ = كثافة السائل (kg/m^3)

١-٣-٤ ضغط المائع

يولد السائل ضغطاً موزعاً في جميع الاتجاهات، وبحسب المستوى الذي يحيط بذلك بالسائل. وتختلف قوة ضغط السائل باختلاف وضع المستوى، فعندما يأخذ المستوى الوضع الأفقي فإن الضغط يتساوى عند جميع نقاط ذلك المستوى، بينما يزيد ضغط الماء بزيادة العمق عندما يكون المستوى في وضع رأسي، كما يبينها الشكل (١- ١).

ويتم حساب ضغط السائل والمؤثر عمودياً على المستوى أو الجدار باستخدام العلاقة:

$$p = \frac{F}{A} \qquad (١-٣)$$

حيث:

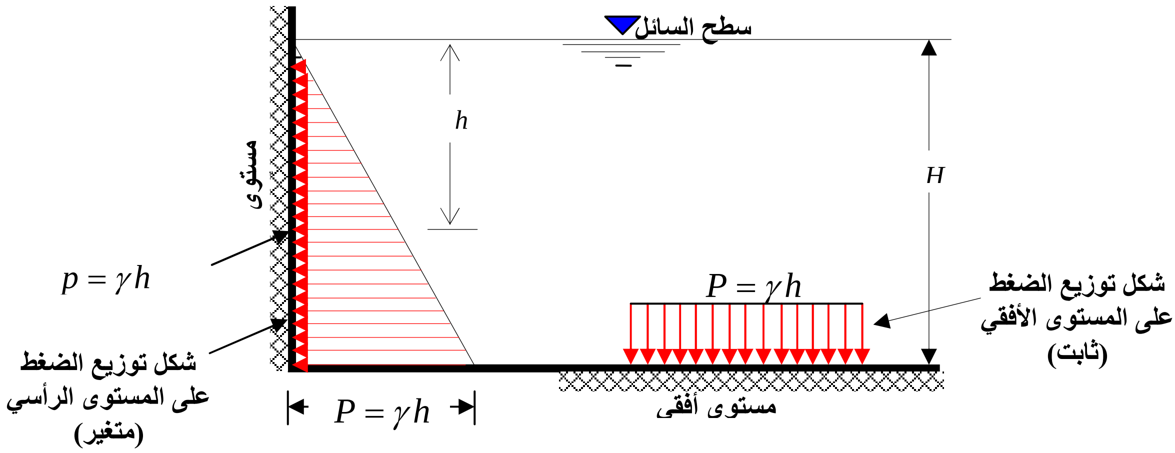
p = ضغط السائل (N/m^2)

F = القوة المسببة للضغط (N) = قوة الضغط

A = المساحة العمودية المعرضة للضغط (m^2)

بمعرفة كثافة السائل (ρ) يمكن تحديد الضغط الذي يولده عند عمق معين (h) عن طريق العلاقة التالية:

$$\begin{aligned} p &= \rho g h = (\rho g) h \\ &= \gamma h \end{aligned} \qquad (١-٤)$$



الشكل (١- ١): ضغط المائع على المستويين الأفقي والرأسي.

ويتضح من هذه العلاقة أن توزيع ضغط المائع على المستوى الرأسي يزيد بازدياد العمق من سطح ذلك المائع ويكون على الشكل مثلث كما في الشكل (١- ١). ويمكن تمثيل ضغط السائل بوحدة البارومتر (bar) والتي تمثل الضغط النسبي ($\bar{p}$) يحسب طالما الكثافة ثابتة من الصيغة:

$$\bar{p}=\frac{p}{10^5} \qquad (١- ٥)$$

وهذا يعني أن 1.0 kPa من ضغط الماء يكافئ ضغط نسبي مقداره 0.102 m.

مثال (١- ١):

خزان أرضي ارتفاع الماء فيه ٣م ، احسب الضغط المائي بوحدة الكيلوباسكل (kPa) في أسفل الخزان.

الحل:

حيث إن كثافة الماء $1000\ kg/m^3$ وبتطبيق المعادلة (١- ٤) فإن ضغط الماء أسفل الخزان يكون:

$$p = \rho g h$$
$$= 1000\,\frac{kg}{m^3} \times 9.81\,\frac{m}{s^2} \times 3\,m$$
$$= 29430\ \frac{kg}{m.s^2} = 29430\ \frac{N}{m^2} = 29.43\ \frac{kN}{m^2} = 29.43\ kPa$$

١- ٤ حركة المائع في المواسير والقنوات المفتوحة

تعد حركة الموائع ذات صبغة معقدة نتيجة ارتباط حركة تدفقها بعدة عوامل، فقد يكون التدفق انسيابي بحيث تتحرك جزيئات السائل بالشكل خطي، وقد يكون مضطرباً تتحرك جزيئاته بالشكل غير منتظم. كما يمكن أن يكون التدفق منتظماً لا تتغير قيمة واتجاه سرعته من نقطة لأخرى خلال لحظة من الزمن أو غير منتظم، وكذلك دوراني أو غير دوراني حول محور التدفق ، وأحادي أو ثنائي أو ثلاثي الأبعاد ، وكذلك ثابت أو متغير مع الزمن.

١- ٤- ١ معادلة الاستمرار (معادلة التدفق)

يرجع أساس معادلة الاستمرار إلى مبدأ احتفاظ السائل بكتلته، أي أن هذه الكتلة تظل ثابتة في مقاطع تدفق السائل وفي وحدة الزمن المتحركة. فعندما يتدفق السائل خلال أنبوب كما يبينه الشكل رقم (١- ٢)، فإن معدل التدفق عند المقطع (١) يكون مساوياً لمعدل التدفق عند المقطع (٢)، أي أن:

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2 \qquad (١- ٦)$$

حيث:

$\rho_1 =$ كثافة السائل عند المقطع (١)
$\rho_2 =$ كثافة السائل عند المقطع (٢)

$V_1 =$ سرعة تدفق السائل عند المقطع (١)
$V_2 =$ سرعة تدفق السائل عند المقطع (٢)

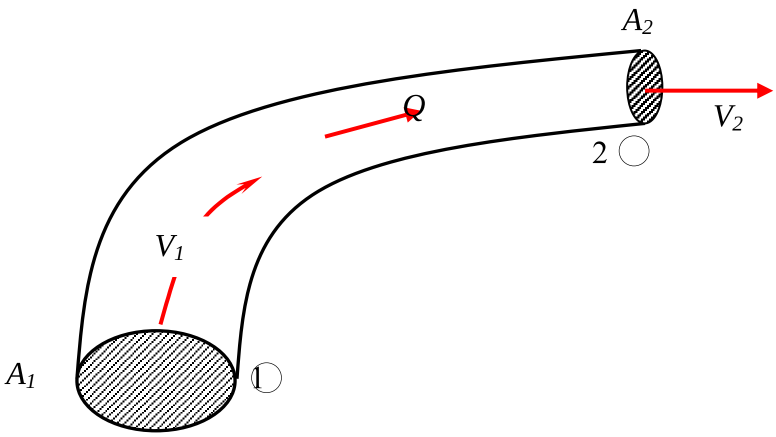
$A_1 =$ مساحة المقطع (١)
$A_2 =$ مساحة المقطع (٢)

أما كمية تدفق السائل (Q) فتحسب من العلاقة التي تربط مساحة المقطع (A) مع معدل سرعة السائل (V):

$$Q = VA \qquad (١-٧)$$

وفي حالة الموائع غير المنضغطة تكون كثافة المائع متساوية عند المقطعين، أي أن $\rho_1 = \rho_2$ ، وبذلك تصبح معادلة الاستمرار:

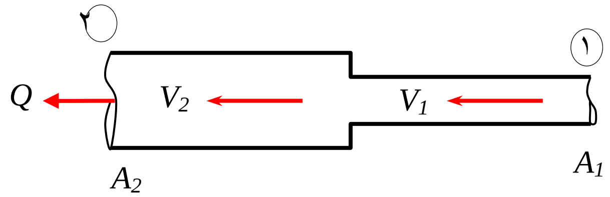
$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \qquad (١-٨)$$



الشكل (١- ٢): تدفق لسائل منتظم الاستمرار خلال أنبوب.

مثال (١- ٢):

أنبوبتان متصلتان ببعضهما كما في الشكل رقم (١- ٣) ويتدفق خلالهما الماء بسرعة 4.0 m/s عند المقطع (١) و 0.25 m/s عند المقطع (٢). فإذا كان قطر المقطع (1) هو 3.0 mm فكم يكون قطر الأنبوب عند المقطع (٢)؟



الشكل (١- ٣): رسم توضيحي للمثال رقم (١- ٢)

الحل:

معطى: $V_1 = 4.0\ m/s$ و $V_2 = 0.25\ m/s$

- يتم حساب مساحة المقطع (1) كالآتي:

$$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi \times \left(\frac{3}{1000}\right)^2}{4} = 7.07 \times 10^{-6}\ m^2$$

وبتطبيق معادلة الاستمرار يتم حساب مساحة المقطع (٢) كما يلي:

$$V_1 A_1 = V_2 A_2$$
$$4.0 \times 7.07 \times 10^{-6} = 0.25 \times A_2$$
$$\therefore\ A_2 = 1.13 \times 10^{-4}\ m^2$$

- وبمعرفة مساحة المقطع يمكن تحديد قطر الأنبوب عند المقطع (٢):

$$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{4} = 1.13 \times 10^{-4}\ m^2$$
$$\therefore\ D_2 = 0.012\ m = 12.0\ mm$$

مثال (١- ٣):

أنبوبة قطرها 150 mm يتدفق من خلالها الماء بمقدار $0.12\ m^3/s$، فأوجد سرعة تدفق الماء بهذه الأنبوبة.

الحل:

معطى: $D = 150\ mm$ و $Q = 0.12\ m^3/s$

- مساحة مقطع الأنبوب:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi \times 150^2}{4} = 17.671 \times 10^3\ mm^2 = 17.671 \times 10^{-3}\ m^2$$

- معادلة التدفق:

$$Q = AV$$

- وبالتالي فإن سرعة تدفق الماء في الأنبوب:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.12}{17.671 \times 10^{-3}} = 6.80\ m/s$$

١- ٤- ٢ معادلة برنولي (معادلة الطاقة)

يعود أساس هذه المعادلة إلى مبدأ احتفاظ سريان الماء بالطاقة، أي أنه في حالة سريان السائل في الأنبوب فإن الطاقة لا تتغير، بمعنى أنها عند المقطع (١) تكون مساوية عند المقطع (٢) كما يوضحها الشكل (١- ٤)، وذلك بفرض إهمال الفواقد بين المقطع (١) و (٢) وهي الفواقد الرئيسية الناتجة من الاحتكاك والفواقد الثانوية الناتجة من تغيير مقطع الأنبوب، أي أن مجموع الطاقة الكلية عند المقطعين متساويين:

$$H_1 = H_2$$

$H_1 =$ مجموع الطاقة الكلية عند المقطع (١). $H_2 =$ مجموع الطاقة الكلية عند المقطع (٢).

وبالتالي فإن معادلة برنولي تأخذ الصيغة التالية:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 \qquad (١-\ ٩)$$

حيث:

p_1 = ضغط السائل عند المقطع (١).

p_2 = ضغط السائل عند المقطع (٢).

V_1 = سرعة تدفق السائل عند المقطع (١).

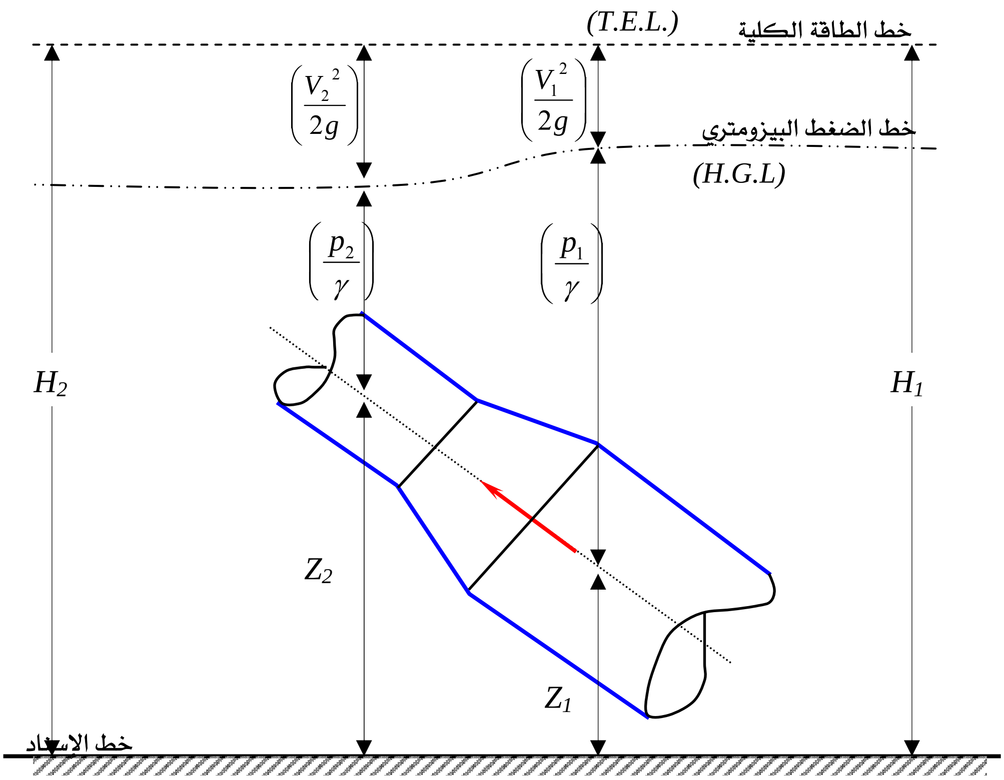
V_2 = سرعة تدفق السائل عند المقطع (٢).

Z_1 = منسوب المقطع (١) من مرجع الإسناد.

Z_2 = منسوب المقطع (٢) من مرجع الإسناد.

γ = وحدة وزن السائل.

g = تسارع الجاذبية الأرضية.



الشكل (١- ٤): رسم توضيحي لمعادلة برنولي.

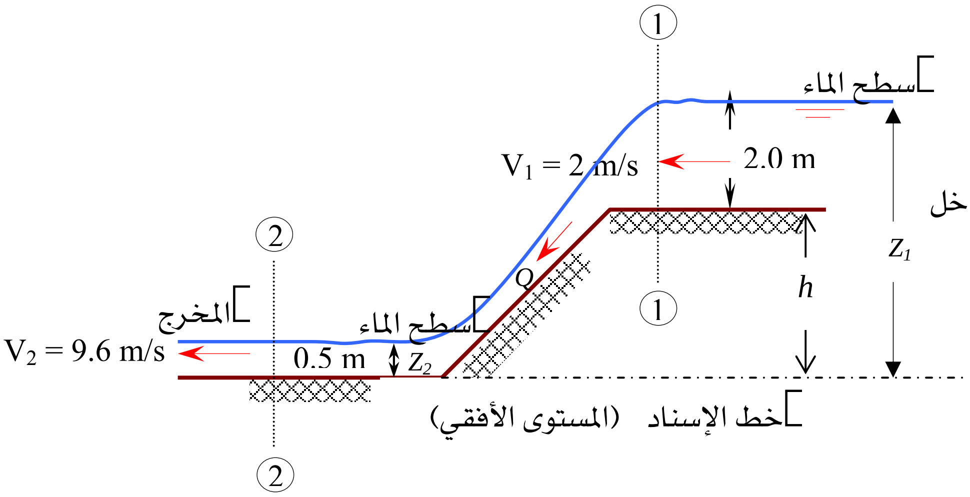
يحتوي طرفي معادلة برنولي على ثلاثة أجزاء الشكل في مجملها طاقة المائع بوحدة المتر وتحتوي على:

- طاقة ضغط السائل: $\left(\frac{p}{\gamma}\right)$
- طاقة حركة السائل: $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$
- طاقة وضع السائل: (Z)
- الطاقة الكلية: $H = \left(\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + Z\right)$

وتعتمد معادلة برنولي على خط الطاقة الكلية وهو تعبير بياني يمكن رسمه بوحدات المتر ويوضح إجمالي طاقة المائع عند كل مقطع، وينحدر هذا الخط باتجاه سريان المائع. كما تعتمد المعادلة على الخط البيزوميتري أو خط الضغط الهيدروليكي والذي يقع تحت خط الطاقة الكلية ويكون موازياً له حتى تتغير مساحة المقطع.

مثال (١- ٤):

قناة مفتوحة تتدفق من خلالها المياه على مستويين، كما يبينها الشكل رقم (١- ٥)، ومعطى سرعة وارتفاع المياه عند المقطعين (١) و(٢). فإذا كانت سرعة المياه منتظمة والضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فما مقدار الارتفاع h (الفرق في الارتفاع بين المقطعين (١) و(٢))؟



الشكل (١- ٥): رسم توضيحي للمثال (١- ٤).

الحل:

حيث إن الضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فإن:

$$p_1 = p_2 = 0$$

وبتطبيق معادلة برنولي بين القطاع (١- ١) والقطاع (٢- ٢) يتضح أن:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

حيث:

$$p_1 = 0 \qquad p_2 = 0$$
$$V_1 = 2\ m/s \qquad V_2 = 9.6\ m/s$$
$$Z_1 = h + 2m \qquad Z_2 = 0.5m$$

وبالتعويض المباشر في المعادلة يتم حساب الارتفاع h كما يلي:

$$0 + \frac{(2)^2}{2g} + (h+2) = 0 + \frac{(9.6)^2}{2g} + 0.5$$

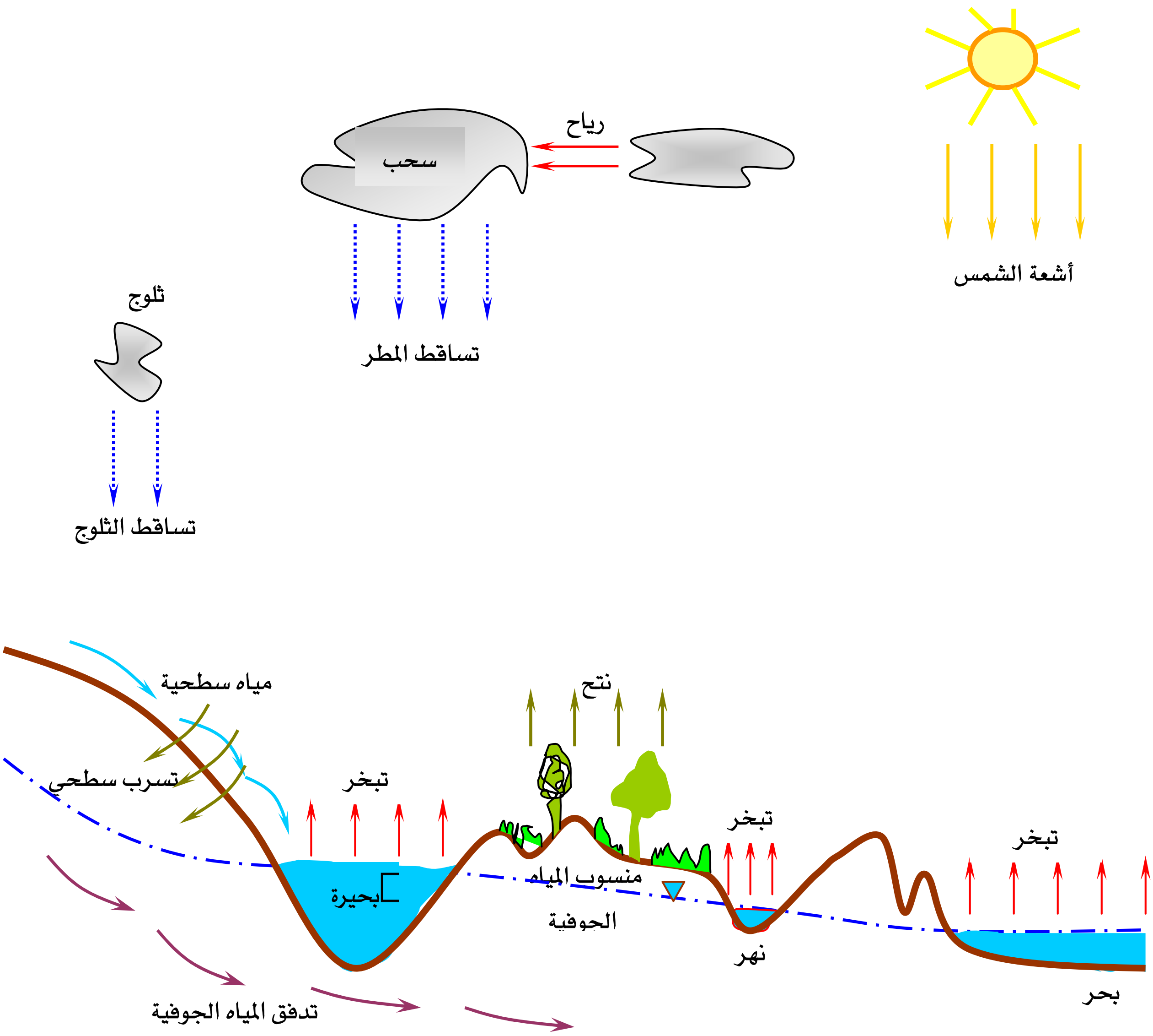
$$h = 3.0\ m$$

١- ٥ الهيدرولوجيا (Hydrology)

يهتم علم الهيدرولوجيا بدورة المياه على الكرة الأرضية سواء كانت هذه المياه في باطنها أو على سطحها أو بالغلاف الجوي، من حيث توزيعها وخواصها الكيميائية والفيزيائية وتفاعلها مع مكونات البيئة وعلاقته بالحياة.

١- ٥- ١ الدورة الهيدرولوجية

يغطي الماء ما يقارب ثلاثة أرباع الكرة الأرضية ويمر بحركة طبي تسرب عميق كما يوضحها الشكل (١- ٦)، فالدورة الهيدرولوجية أو الدورة المائية تتكون من سلسلة من الأحداث التي تصف مسارات الماء من الغلاف الجوي إلى الأرض ومن الأرض إلى الغلاف الجوي.



الشكل (١- ٦): الدورة الهيدرولوجية للماء.

وتتمثل الدورة المائية في العناصر الرئيسة التالية:

- التبخر
- النتح
- التساقط
- الجريان السطحي
- التسرب السطحي
- التسرب العميق
- التدفق السطحي
- التدفق العميق

وتعمل الدورة المائية في مجملها على حفظ التوازن المائي في الكرة الأرضية. ويمكن التعبير عن التوازن المائي لمساحة معينة من العلاقة:

$$I - O = \Delta S \qquad (١ - ١٠)$$

حيث (I) يمثل كمية المياه الداخلة للمساحة، و (O) يمثل كمية المياه الخارجة، بينما يمثل(ΔS) المخزون المائي لتلك المساحة.

١- ٥- ٢ توزيع مياه الكرة الأرضية

تتواجد المياه في الكرة الأرضية بكميات هائلة من الصعب حصرها، ولكن التقديرات التقريبية تشير بأن إجمالي كمية المياه قد تصل لحوالي $1.36\times10^{18}\ m^3$. والشكل المياه المالحة الجزء الأكبر بينما لا الشكل المياه العذبة إلا الجزء القليل جداً. ويوضح الجدول (١- ٢) توزيع مياه الكرة الأرضية والنسب التقريبية للتوزيع.

الجدول (١- ٢): توزيع مياه الكرة الأرضية التقريبي.

موقع المياه	الكمية ($10^3\ km^3$)	النسب التقريبية (٪)
أنهار	١,٢٥	٠,٦٢
بحيرات مياه عذبة	١٢٥	
المياه الجوفية	٨٢٥٠	
المحتوى المائي في التربة	٦٥	
بحيرات مالحة وجزر البحار	١٠٥	٠,٠٠٨
الغلاف الجوي	١٣	٠,٠٠١
قطبي الكرة والأنهار الجليدية	٢٩٢٠٠	٢,١٠
بحار ومحيطات	١٣٢٠٠٠٠	٩٧,٢٥
	١٣٦٠٠٠٠	١٠٠

ولا شك أن المياه العذبة لها الأهمية الكبرى في حياة الإنسان، إلا أنها لا الشكل إلا ما نسبته حوالي ٠,٦٢٪ من مياه الكرة الأرضية، ونصف هذه النسبة لا يتم الحصول عليها بسهولة لكونها تقع على عمق يزيد عن 800 m من سطح الأرض.

١- ٥- ٣ التساقط

يحدث التساقط نتيجة تكثف الهواء المشبع ببخار الماء وتكون قطراته حتى تصبح ثقيلة وتبدأ في السقوط ويقاس بوحدة الطول الذي يمثل عمق الماء المتساقط على مساحة معينة، ويعبر عن ذلك بالمليمتر (mm) أو البوصة (in). ويأخذ التساقط صوراً عدة أهمها:

١) المطر: تزيد قطر حبيباته عن 0.5 mm، ويأخذ ثلاث درجات حسب غزارة أو شدة المطر وهي:

- مطر غزير: حيث تزيد شدة سقوطه عن حوالي 7.6 mm/hr
- مطر متوسط: حيث تتراوح غزارته بين 2.5 mm/hr و 7.6 mm/hr
- مطر خفيف: حيث تقل شدة سقوطه عن حوالي 2.5 mm/hr

٢) الرذاذ: وهو تساقط خفيف ومتجانس لقطرات تقل أبعاد أقطارها عن 0.5 mm وتقل شدة سقوطها عن 1 mm/hr.

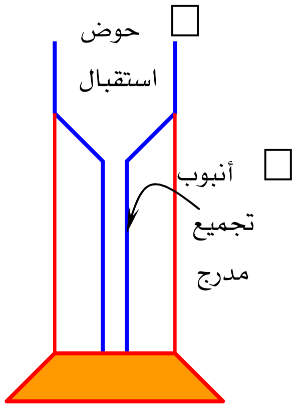
٣) الثلج: ويكون على الشكل كرات مائية هشة، وقد يكون ثلج بردي في صورة كرات مائية متجمدة.

٤) البرَد: ويأخذ الشكل الكرات المائية المتجمدة التي تزيد أقطارها عن 5 mm.

ويقاس التساقط بعدة طرق يذكر منها على سبيل المثال:

١) مقياس المطر: وهو جهاز يحتوي على حوض تجميع مرتبط بأنبوب مدرج كما يوضحه الشكل رقم (١- ٧). ويكون مقدار المطر المتساقط مساوياً لحجم الماء المتجمع في الأنبوب مقسوماً على مساحة مقطع الأنبوب.

٢) الطريقة الأوتوماتيكية: حيث يرتبط جهاز قياس المطر مع راسمة لرصد تساقط المطر بيانياً على مدار الساعة.



الشكل (١- ٧): جهاز قياس المطر.

إن حساب معدل تساقط الأمطار على منطقة معينة يتم بعدة طرق من أبسطها:

١) طريقة المتوسط الحسابي: بحيث يتم حساب متوسط سقوط المطر في محطات الرصد المتوفرة بالمنطقة، وتتمثل بالصيغة التالية:

$$\overline{P} = \sum_{i}^{N} \frac{P_i}{N} \qquad (١- ١١)$$

حيث:

$\overline{P}$: متوسط سقوط المطر

P : قياس كمية المطر على محطة الرصد

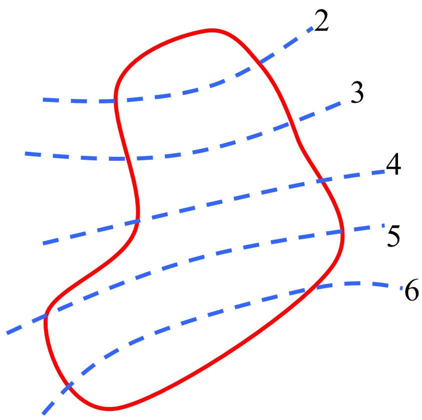
N : عدد محطات الرصد

٢) طريقة خطوط تساوي المطر: حيث ترسم الخطوط الكنتورية لتساوي سقوط المطر كما في الشكل (١- ٨)، ويحسب معدل التساقط بجمع حاصل ضرب متوسط الأمطار بين كل خطين

متجاورين بالمساحة الواقعة بين هذين الخطين ومقسومة على المساحة الكلية للمنطقة، كما تبينها المعادلة:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i}^{N} P_i A_i}{\sum_{i}^{N} A_i} \qquad (١-١٢)$$

حيث A تمثل المساحة بين خطي تساوي المطر.



الشكل (١-٨): مثال على خطوط التساوي المطرية.

١-٥-٤ التبخر

تكمن عملية التبخر في تحول جزيئات الماء من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. ويحدث التبخر في الدورة المائية للكرة الأرضية من أسطح الماء المكشوفة مثل المحيطات والبحار والأنهار. وتتأثر عملية التبخر بعوامل رئيسة هي:

١) الظواهر المناخية: مثل درجة الحرارة والإشعاع الشمسي والرياح والرطوبة الجوية.

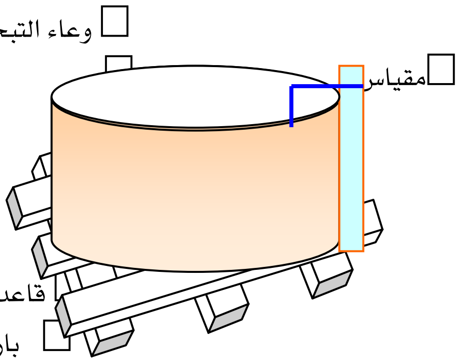
٢) طبيعة الأسطح: مثل سطح الماء الحر، وسطح الأرض المشبعة بالماء، والأسطح الجليدية.

٣) نوعية الماء المتبخر: مثل احتوائه على نسبة من الأملاح الذائبة والمواد الصلبة.

ويمكن حساب الفاقد من التبخر بالشكل سنوي، فعلى سبيل المثال: يصل فاقد التبخر في مدينة الرياض إلى 2900 mm/year لكونها مدينة ذات مناخ صحراوي.

ويقاس فاقد التبخر لمنطقة معينة بطرق ميدانية وأخرى حسابية. ومن أكثر الطرق التجريبية استخداماً طريقة وعاء التبخر (class A pan) الموضح في الشكل (١-٩) والذي اقترحه مكتب الأرصاد الأمريكي. وتحسب كمية التبخر بقياس عمق الماء في الوعاء. ونظراً لاختلاف الظروف المناخية

بين التبخر من الوعاء والتبخر من المسطحات المائية، فإن ذلك يحتاج إلى التصحيح بمعامل يتراوح بين ٠,٦ و٠,٨.



الشكل (١- ٩): وعاء التبخر.

أما قياس التبخر باستخدام المعادلات التجريبية فتستخدم في وجود المسطحات المائية الكبيرة والتي تطبق عليها قوانين: توازن الطاقة، والتوازن المائي، وانتقال الكتلة. فعندما تكون درجة حرارة سطح الماء مساوية تقريباً لدرجة حرارة الهواء، فإنه يمكن تطبيق المعادلة التجريبية التالية لقياس مقدار التبخر:

$$E_a = 0.35(e_s - e)(0.5 + 0.54u_2) \quad (١-١٣)$$

حيث:

E_a: مقدار التبخر بوحدة (mm/day)

e_s: ضغط بخار الماء المتشبع عند سطح الماء

e: ضغط بخار الماء في الجو

u_2: سرعة الرياح عند ارتفاع 2 m بالوحدة (m/s)

مثال (٥- ١):

احسب فاقد التبخر اليومي من بحيرة ضغط بخار الماء المشبع عند سطحها وضغط بخار الماء في الجو ١٤,٤ و ٥,٨ مم زئبق على التوالي، وسرعة الرياح 18 km/hr.

الحل:

- سرعة الرياح:

$$u_2 = 18\ km/hr = \frac{18 \times 1000}{60 \times 60} = 5\ m/s$$

- فاقد التبخر اليومي:

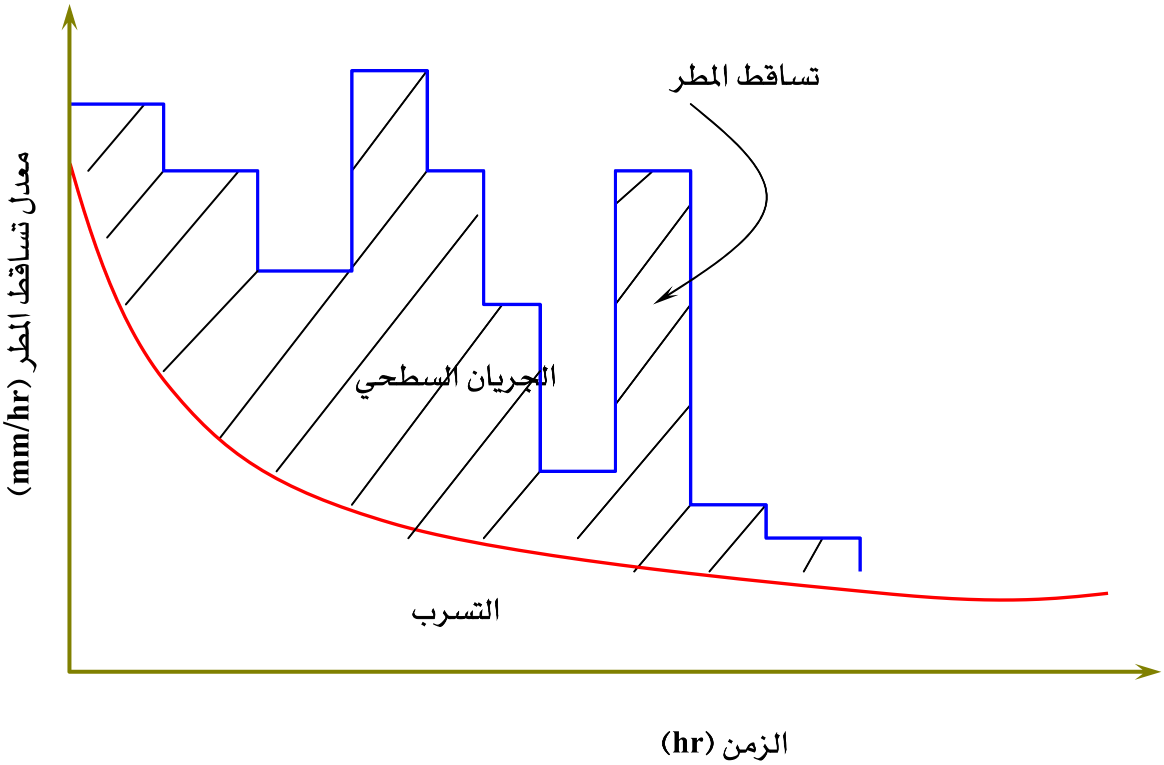
$$\begin{aligned} E_a &= 0.35(e_s - e)(0.5 + 0.54u_2) \\ &= 0.35(14.4 - 5.8)(0.5 + 0.54 \times 5) \\ &= 9.63\ mm/day \end{aligned}$$

١- ٥- ٥ التسرب

يقصد بالتسرب بأنه السريان الرأسي للماء من سطح التربة إلى الطبقات التحتية، ويعبر عن ذلك بمعدل التسرب الذي يبين السرعة التي يتحرك بها الماء من سطح الأرض إلى طبقات التربة، ويقاس بعمق الماء المتسرب في وحدة زمنية. ويعتمد معدل التسرب على عوامل أبرزها:

١) الخواص الفيزيائية للتربة من حيث نفاذيتها وحجم حبيباتها ونسبة المحتوى المائي بها.
٢) الغطاء النباتي على سطح الأرض.
٣) الميول الأرضية.
٤) اختلاف فصول السنة.

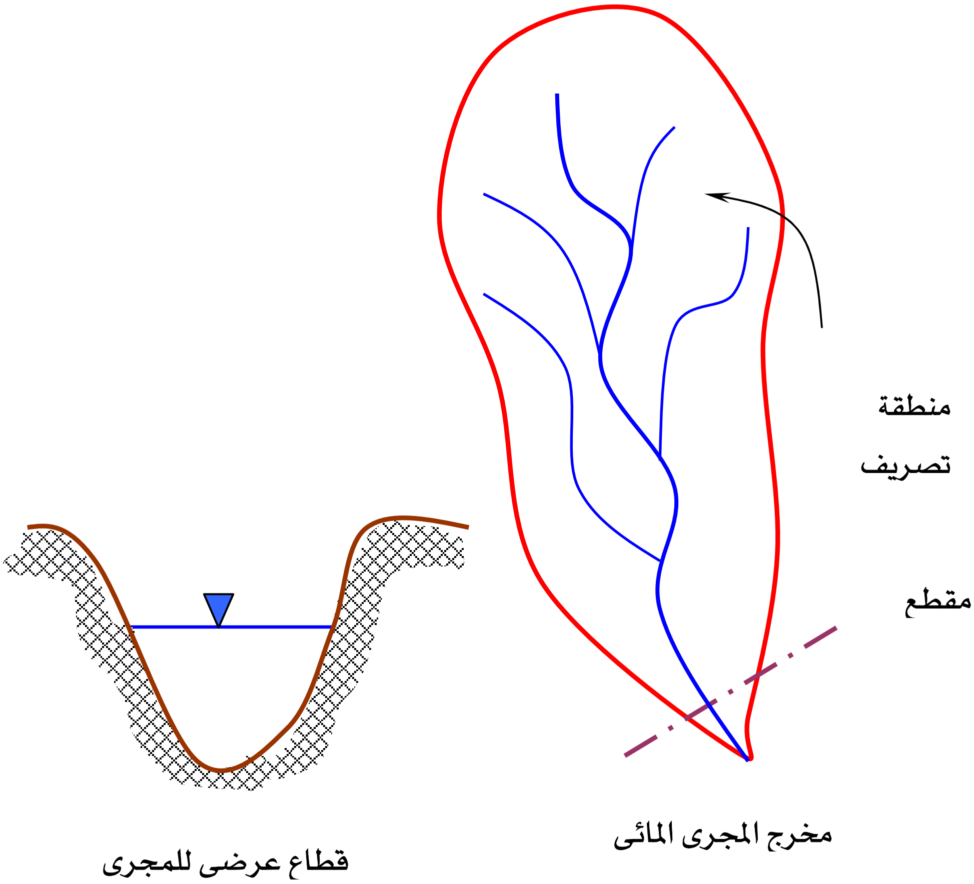
ويقاس معدل التسرب بأجهزة خاصة تتناسب مع الماء والتربة، إلا أن تحليل المنحنيات المائية أو ما يسمى بالهيدروجراف (hydrograph) هي الأكثر استخداماً لقربها من الظروف الحقيقة. وتحتوي المنحنيات المائية على بيانات عن تساقط المطر وما ينتج عنه من جريان سطحي وتسرب للمياه، ويوضح الشكل (١- ١٠) نموذج لتلك المنحنيات.



الشكل (١- ١٠): نموذج لمنحنى مائي.

١- ٥- ٦ الجريان السطحي

عندما يسقط المطر على منطقة معينة فإن جزءاً منه يجري على سطح الأرض نتيجة تشبع التربة وعدم قدرتها على امتصاص المياه. ويبدأ الجريان السطحي من فترة سقوط المطر وحتى يصب في المجرى المائي أو أنابيب التصريف، كما هو مبين في الشكل (١- ١١).



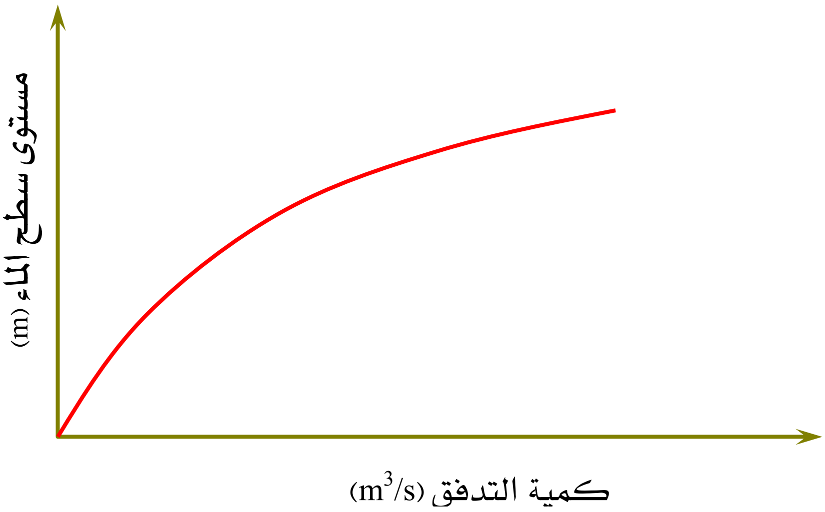
الشكل (١- ١١): منطقة تصريف بمجرى مائي.

وبمعرفة مساحة مقطع المجرى ومتوسط سرعة المياه فيه، يمكن تحديد كمية المياه المتدفقة خلاله في وحدة الزمن وذلك وفق المعادلة التالية:

$$Q = VA \qquad (١- ١٤)$$

حيث: Q: تدفق المياه في المجرى المائي، A: مساحة مقطع المجرى و V: متوسط سرعة الماء.

وبرصد جريان الماء خلال ذلك المقطع على مدار العام وبكميات تدفق مختلفة حسب تساقط الأمطار، يستنتج منحنى معايرة للمجرى المائي يربط كمية المياه المتدفقة بمستوى سطح الماء في المجرى كما يوضح ذلك الشكل (١- ١٢). حيث تؤخذ عدد من القياسات لكمية المياه المتدفقة والمنسوب المقابل لسطح الماء في المجرى المائي لرسم منحنى المعايرة الذي يصف حالة المجرى.



الشكل (١- ١٢): منحنى معايرة لمجرى مائي.

أسئلة وتمارين:

١) عرف: كثافة المائع، والوزن النوعي للمائع، ولزوجة المائع، وضغط المائع.

٢) عرف: التبخر، والتسرب، والجريان السطحي.

٣) اشرح حركة المائع في المواسير والقنوات المفتوحة.

٤) اشرح معادلة الاستمرار للسوائل (معادلة التدفق).

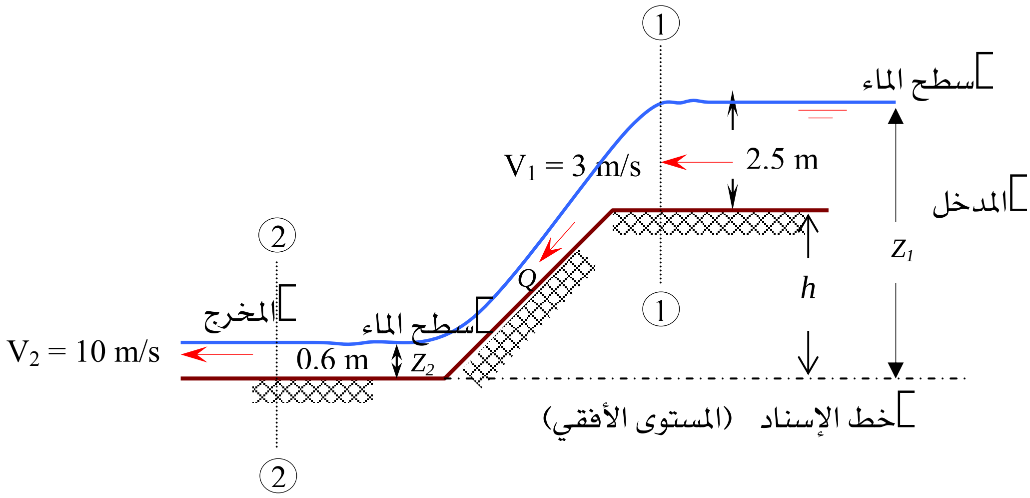
٥) تتكون الدورة الهيدرولوجيا من سلسلة من الأحداث التي تصف مسارات الماء من الغلاف الجوي إلى الأرض ومن الأرض إلى الغلاف الجوي، اشرح ذلك.

٦) خزان أرضي ارتفاع الماء فيه ٢،٥ م. احسب الضغط المائي في أسفل الخزان بوحدة (kPa).

٧) أنبوبتان متصلتان ببعضهما ويتدفق خلالهما الماء بسرعة 6 m/s عند المدخل و 0.2 m/s عند المخرج. احسب قطر الأنبوب عند المخرج علمًا أن القطر عند المدخل هو ٥ cm؟

٨) أوجد سرعة تدفق الماء لأنبوبة قطرها ٢٠٠ MM ويتدفق من خلالها الماء بمقدار $0.2\ m^3/s$.

٩) قناة مفتوحة تتدفق من خلالها المياه على مستويين، كما يبينها الشكل المرفق، ومعطى سرعة وارتفاع المياه عند المقطعين (١) و(٢). فإذا كانت سرعة المياه منتظمة والضغط الهيدروليكي محدد على سطح الماء عن المقطعين، فما مقدار الارتفاع h؟



١٠) احسب فاقد التبخر اليومي من بحيرة ضغط بخار الماء المشبع عند سطحها وضغط بخار الماء في الجو ١٣،٥ و ٦،١ مم زئبق على التوالي، وسرعة الرياح 20 km/hr.

شبكات المياه والصرف الصحي

أعمال الحدادة

الوحدة الثانية : الدراسات الأولية لشبكات توزيع المياه

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذا الفصل على المصادر المختلفة للمياه والعوامل المؤثر في معدلات الاستهلاك المختلفة للمياه، وأساسيات التصميم الهندسي لمشروعات الإمداد بمياه التغذية.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون المتدرب قادراً بإذن الله على:

١. معرفة مصادر المياه المختلفة.
٢. حساب التعداد السكاني الحالي والمستقبلي للمنطقة.
٣. حساب معدلات الاستهلاك الحالية والمستقبلية للمياه.
٤. تحديد الطرق المناسبة لتجميع وتوزيع المياه.
٥. تصميم شبكات توزيع مياه التغذية.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل: ٨ ساعات.

الدراسات الأولية لشبكات توزيع المياه

٢- ١ مقدمة

لقدت ساهمت النظم الهندسية للتغذية والمياه إلى حدٍ كبير في تطوير المدن والمجتمعات، فالمياه لها ارتباط أساسي بتطور الطبيعة والحياة، وبدون مياه نقية لا يستطيع الإنسان العيش. وبالرغم من ذلك فإن النمو السكاني المستمر والتقدم الصناعي جعل عملية الإمداد بالمياه الصالحة للشرب صعبة. فمصادر المياه العذبة شبه ثابتة في حين معدل استهلاك هذه المياه يتزايد بصفة مستمرة وغالبية الدول تعتمد على المياه الجوفية التي عادة ما تكون غير كافية للطلبات المتزايد للمياه.

وتتطلب دراسة مشروعات الإمداد بالمياه وتصميم الشبكات الخاصة بها إلى معرفة دقيقة بكمية المياه التي تحتاجها المدينة أو المنطقة التي سينشأ فيها المشروع وإلى تحديد مصادر المياه المختلفة المحاطة بالمنطقة. وعند الدراسة يجب الأخذ في الاعتبار الفترة الزمنية التي سيخدمها المشروع بحيث يكون التصميم مناسباً للاحتياجات الحالية للمنطقة وفي نفس الوقت مناسب للتغيرات المستقبلية المنتظرة. وتشمل هذه الدراسة:

١. حساب التعداد السكاني الحالي والمستقبلي للمنطقة التي سينشأ فيها المشروع.
٢. معرفة الخطة التطويرية الحالية والمستقبلية للمنطقة.
٣. تحديد الأغراض المختلفة لاستهلاك المياه.
٤. معرفة مصادر المياه المختلفة في المنطقة واختيار المناسب منها.
٥. تحديد الطرق المناسبة لتجميع وتوزيع المياه.
٦. حساب معدلات استهلاك المياه الحالية والمستقبلية للمنطقة.

٢- ٢ مصادر المياه

تأخذ المياه مصادر متعددة ليستفيد منها الإنسان بحسب كمياتها وكيفية الاستفادة منها، ومن أبرز مصادر المياه الطبيعية ما يلي:

٢- ٢- ١ مياه الأمطار

تعد مياه الأمطار والثلوج المصدر الرئيسي لكل الموارد المائية العذبة، وتختلف معدلاتها من فصل لأخر ومن منطقة لأخرى. ويمكن استعمال هذه المياه بطريقة صحية بعد تنقيتها من الأتربة والمعلقات ومعالجتها. ويحتاج الاستعمال المباشر لهذه المياه إلى سدود وأحواض لاستقبالها وتخزينها بطريقة ملائمة تحافظ عليها من التدفق ومن مصادر التلوث. وتتم دراسة معدلات سقوط مياه الأمطار على مدار السنة لكل منطقة ودراسة تكاليف تجميعها ومعالجتها ومقارنة ذلك بتكاليف الإمدادات من مصادر أخرى.

٢- ٢- ٢ المياه السطحية

تكون المياه السطحية في العادة قريبة من المناطق السكنية وتشمل مياه الأنهار والبحيرات ذات المصادر الوافرة. وتجب الإشارة أن المياه السطحية وفروعها تحتاج إلى متابعة دورية لتنقيتها من الرواسب والمواد العالقة والكائنات الحية حتى تكون صالحة للاستعمالات المختلفة إلى سطح الأرض.

٢- ٢- ٣ المياه الجوفية

وهي المياه التي توجد تحت سطح الأرض على أعماق مختلفة حسب طبيعة المنطقة. وتعد هذه المياه من أهم المصادر من حيث الكمية مقارنة بالمياه السطحية. وتحتاج المياه الجوفية إلى دراسة وتحليل كامل قبل استعمالها من حيث صلاحيتها والتكاليف اللازمة للاستفادة منها.

٢- ٣ الاستعمالات المختلفة للمياه

تستعمل المياه في جميع الأغراض اليومية للإنسان وكذلك في الصناعة والتجارة وغير ذلك. ويمكن تقسيم كميات المياه التي تزود بها المدن حسب غرض استهلاكها إلى الأقسام التالية:

٢- ٣- ١ الاستهلاك لأغراض شخصية

ويشمل كميات المياه التي تزود بها الوحدات السكنية والفنادق والمطاعم بغرض الشرب والطهي والاستحمام والغسيل وغير ذلك. وتتفاوت معدلات الاستهلاك هذه من منطقة لأخرى حسب المستوى المعيشي للأفراد وتتراوح بين ٧٥ و ٣٤٠ لتر/شخص/يوم، حيث تزيد معدلات الاستهلاك مع ارتفاع مستوى المعيشة ويقدر هذا الاستهلاك بحوالي ٤٠٪ من معدل الاستهلاك العام في المدينة.

٢- ٣- ٢ الاستهلاك لأغراض التجارة والصناعة

يؤثر مستوى الصناعة على معدلات الاستهلاك فيزيد بنسبة كبيرة في المناطق الصناعية حسب نوعية الصناعة ومدى احتياجاتها للمياه. وعادة ما يقدر معدل استهلاك المؤسسات الصناعية والتجارية للمياه حسب المساحة الإجمالية التي تحتوي عليها فيحسب باللتر/ م^{٢}/اليوم، وقد يصل هذا الاستهلاك في المدن التي يزيد عدد سكانها عن ٢٥٠٠٠ نسمة إلى حوالي ٣٥٪ من الاستهلاك الإجمالي للمدينة، إلا أنه يجب مراعاة ظروف كل مدينة ونوع الصناعات القائمة وكذلك الصناعة المستقبلية عند تقدير كمية المياه الصناعية والتجارية.

٢- ٣- ٣ استهلاك المياه للخدمات العامة

تشمل المباني العامة كل من المدارس والمستشفيات ومحطات النقل والمطارات ومباني الخدمات العامة. وكل هذه المباني تستهلك كميات كبيرة من المياه وقد تصل إلى ٧٥ لتر/شخص/يوم. ويقدر هذا الاستهلاك بحوالي ١٥٪ من الاستهلاك العام للمدينة.

٢- ٣- ٤ فاقد كميات المياه

وهي كميات المياه التي تضيع بسبب التسرب من وصلات المواسير، والعطل الذي قد يحدث في المضخات وفي العدادات وكذلك بسبب التوصيلات غير القانونية. وعادة ما تعرف هذه بكمية المياه غير المحصورة. ويقدر هذا الفاقد بحوالي ١٠٪ من الاستهلاك العام للمدينة، إلا أنه يمكن الحد منه بالعناية بعمل الوصلات وإصلاح المواسير والصمامات.

٢- ٤ معدلات الاستهلاك والعوامل المؤثرة فيها

يبين الجدول (٢- ١) المعدلات التقريبية للاستعمالات المختلفة للمياه، وهذه البيانات مبنية على متوسط الاستهلاك اليومي للشخص.

الجدول (٢- ١): المعدلات التقريبية للاستعلامات المختلفة للمياه.

الاستعمالات المختلفة	الاستهلاك (لتر/شخص/يوم)	النسبة (٪)
	٣٠٠	٤٤
الصناعة	١٦٠	٢٤
	١٠٠	١٥
الخدمات العامة	٦٠	٩
الإتلاف والفاقد	٥٠	٨
المجموع	٦٧٠	١٠٠

وقد تزيد هذه المعدلات أو تنقص من مدينة لأخرى حسب العوامل التالية:

- حجم المدينة
- نوعية المياه
- طبيعة الطقس
- تكلفة المياه
- المستوى المعيشي للسكان
- التوزيع المستمر للمياه
- النشاط التجاري والصناعي
- ضغط المياه في الشبكة

٢- ٥ التعداد السكاني

قبل البدء في تصميم أي شبكة من شبكات المياه يجب تحديد الفترة الزمنية التي ستخدمها هذه الشبكة. ويتوقف ذلك بالشكل رئيس على معرفة التعداد السكاني الحالي للمنطقة ومعرفة معدل الزيادة السكانية خلال الفترة الزمنية للمشروع وعلاقة ذلك بزيادة معدلات الاستهلاك للمياه. وعادة ما تتم عملية الإحصاء الشامل للسكان مرة في كل عشرة سنوات لأن ذلك يتطلب إعداد وتنظيم ودراسة ليس من السهل القيام بها بصورة مستمرة. ويمكن تقدير الزيادة في السكان بالاستعانة بالبيانات الخاصة بالتعدادات الماضية للمنطقة وتحليلها واستنتاج نسبة النمو التي غالباً ما تكون. وهناك طرق كثيرة لحساب التعداد السكاني من أهمها الطريقة الجبرية والطريقة الهندسية:

أ) الطريقة الجبرية:

تعتمد هذه الطريقة علي فرضية أن معدل النمو السكاني ثابت مع الزمن، ويمكن اختبار ذلك بتحليل البيانات الخاصة بالتعدادات السابقة للمنطقة خلال السنوات الماضية، وهذا يؤدى إلى استنتاج العلاقة الرياضية التالية:

$$k = \frac{dP}{dt} \qquad (٢-١)$$

حيث: $\frac{dP}{dt}$ معدل التغيير في السكان مع الزمن وk مقدار ثابت.

وبإجراء عملية التكامل لهذه العلاقة يمكن استنتاج التعداد السكاني المستقبلي كالتالي:

$$P_t = P_o + kt \qquad (٢-٢)$$

حيث:

P_t : التعداد السكاني المستقبلي.

P_o :آخر تعداد سكاني (التعداد السكاني الحالي).

k:متوسط الزيادة في عدد السكان.

t: الفترة الزمنية الفاصلة بين التعداد الحالي والتعداد المستقبلي، وتكون الفترة الواحدة كل عشر سنوات.

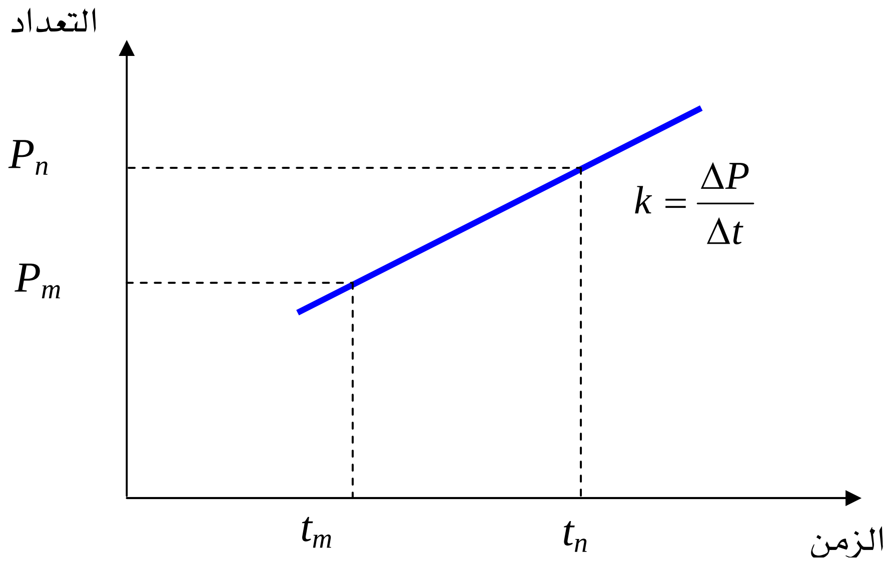
ويمكن استنتاج قيمة k من خلال الرسم البياني للإحصائيات السكانية السابقة بدلالة الزمن كما هو مبين في الشكل (٢- ١):

$$k = \frac{P_n - P_m}{t_n - t_m} \qquad (٢-٣)$$

حيث:

P_m: التعداد في الفترة الزمنية t_m

P_n: التعداد في الفترة الزمنية t_n.



الشكل (٢- ١): العلاقة بين التعداد السكاني والزمن.

ب) الطريقة الهندسية:

تعتمد هذه الطريقة على العلاقة التالية لحساب التعداد السكاني في المستقبل:

$$P_n = P \times (1+r)^n \qquad (٢- ٤)$$

حيث:

P_n: التعداد السكاني بعد عدد n من الفترات الزمنية (عادة تكون الفترة الزمنية ١٠ سنوات).

P: آخر تعداد سكاني (التعداد السكاني الحالي).

n: عدد الفترات الزمنية (وتكون الفترة الواحدة كل عشر سنوات).

r: متوسط النسبة المئوية للزيادة في عدد السكان.

مثال (٢- ١):

احسب التعداد السكاني لعامي ٢٠١٠ و ٢٠٢٠ إذا كان التعداد لعام ٢٠٠٠ يساوي ١٠٥٠٠٠، ونسبة الزيادة تساوي ٤٪.

الحل:

باستخدام الطريقة الهندسية:

$$P_n = P \times (1+r)^n$$

حيث: $P = 105000$ و $r = 4\% = 0.04$

لحساب التعداد السكاني لعام ٢٠١٠ تكون n = ١:

$$P_{2010} = 105000 \times (1+0.04)^1 = 109200$$

لحساب التعداد السكاني لعام ٢٠٢٠ تكون n = ٢:

$$P_{2020} = 105000 \times (1+0.04)^2 = 113568$$

مثال (٢- ٢):

الجدول الآتي يوضح تعداد السكان لإحدى المدن وذلك في الفترة من عام ١٩٦٠ م وعام ٢٠٠٠ م، والمطلوب حساب التعداد المتوقع لهذه المدينة في الخمسين سنة المقبلة وذلك باستخدام الطريقتين الجبرية والهندسية.

السنة الميلادية	١٩٦٠	١٩٧٠	١٩٨٠	١٩٩٠	٢٠٠٠
التعداد	٢٠١٠٠٠	١٢١٠٠٠	٢٢٤٠٠٠	٢٣٤٠٠٠	٢٤٧٠٠٠

الحل:

الجدول التالي يبين حساب نسبة الزيادة في عدد السكان:

السنة الميلادية	التعداد	الزيادة	نسبة الزيادة (٪)
١٩٦٠	٢٠١٠٠٠	-	-
١٩٧٠	٢١٢٠٠٠		٥,٤٧
١٩٨٠	٢٢٤٠٠٠	١٢٠٠٠	٥,٣٦
١٩٩٠	٢٣٤٠٠٠	١٠٠٠٠	٤,٤٦
٢٠٠٠	٢٤٧٠٠٠	١٣٠٠٠	٥,٥٥

المجموع	٤٦٠٠٠	٢٠,٨٤

أ) الطريقة الجبرية:

$$P_t = P_o + kt$$

P_o: آخر تعداد سكاني للمدينة (عام ٢٠٠٠) = ٢٤٧٠٠٠ نسمة

$$k = \frac{\text{مجموع الزيادات}}{\text{عدد سنوات التعداد}} = \frac{247000-201000}{2000-1960} = \frac{46000}{40} = 1150$$

$P_{2010}\,(t=1) = 247000 + 1150 \times 1 = 248150$ نسمة

$P_{2020}\,(t=2) = 247000 + 1150 \times 2 = 249300$ نسمة

$P_{2030}\,(t=3) = 247000 + 1150 \times 3 = 250450$ نسمة

$P_{2040}\,(t=4) = 247000 + 1150 \times 4 = 251600$ نسمة

$P_{2050}\,(t=5) = 247000 + 1150 \times 5 = 252750$ نسمة

ب) الطريقة الهندسية:

$$P_n = P \times (1+r)^n$$

$P = 105000$ وهو آخر تعداد للمدينة (عام ٢٠٠٠)

$$r = \frac{\text{عدد النسب المئوية للزيادات}}{\text{عدد سنوات التعدادات}} = \frac{20.84}{40} = 5.2\%$$

$P_{2010}\,(n=1) = 247000 \times (1+0.052)^1 = 259844$ نسمة

$P_{2020}\,(n=2) = 247000 \times (1+0.052)^2 = 273356$ نسمة

$P_{2030}\,(n=3) = 247000 \times (1+0.052)^3 = 287570$ نسمة

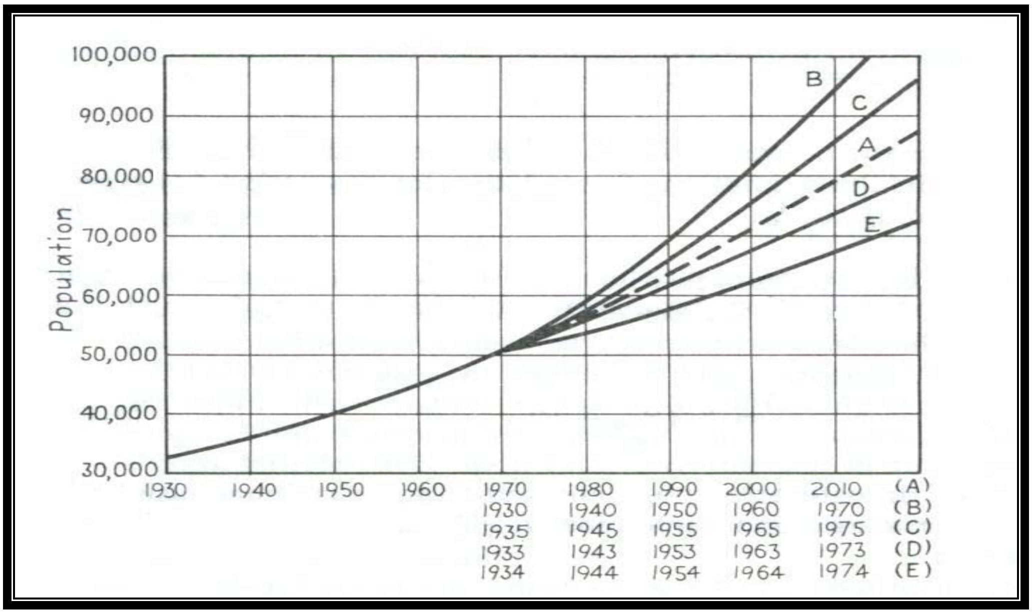
$P_{2040}\,(n=4) = 247000 \times (1+0.052)^4 = 302524$ نسمة

$P_{2050}\,(n=5) = 247000 \times (1+0.052)^5 = 318255$ نسمة

ج) طريقة المقارنة:

تعتمد هذه الطريقة على الرسم البياني للنمو السكاني لمجموعة مدن كبرى تم حصرها خلال سنوات ماضية ومقارنة ذلك بالنمو السكاني لمدينة صغرى تجرى عليها الدراسة، لمعرفة معدل الزيادة السكانية المستقبلية فيها كما هو موضح في الشكل (٢- ٢).

ويجب أن تكون هذه المدينة التي هي قيد الدراسة مشابهة مع تلك المدن من حيث الطبيعة الجغرافية، والمستوى المعيشي، والخطة الصناعية والاقتصادية، ونظام المواصلات وعوامل أخرى مشابهة. والرسم البياني الموضح في الشكل (٣،٢) يبين التعداد السكاني لمدينة (A) تجرى عليها الدراسة بالمقارنة مع مدن مشابهة لها (B)، (C)، (D) و(E). ويلاحظ من خلال هذا المثال أن عدد سكان المدينة (A) في سنة ١٩٧٠ وصل إلي ٥١٠٠٠، وهو تقريبا يساوي عدد سكان المدينة (B) في سنة ١٩٣٠.



الشكل (٢- ٢): التعداد السكاني لمجموعة مدن.

٢- ٦ الكثافة السكانية

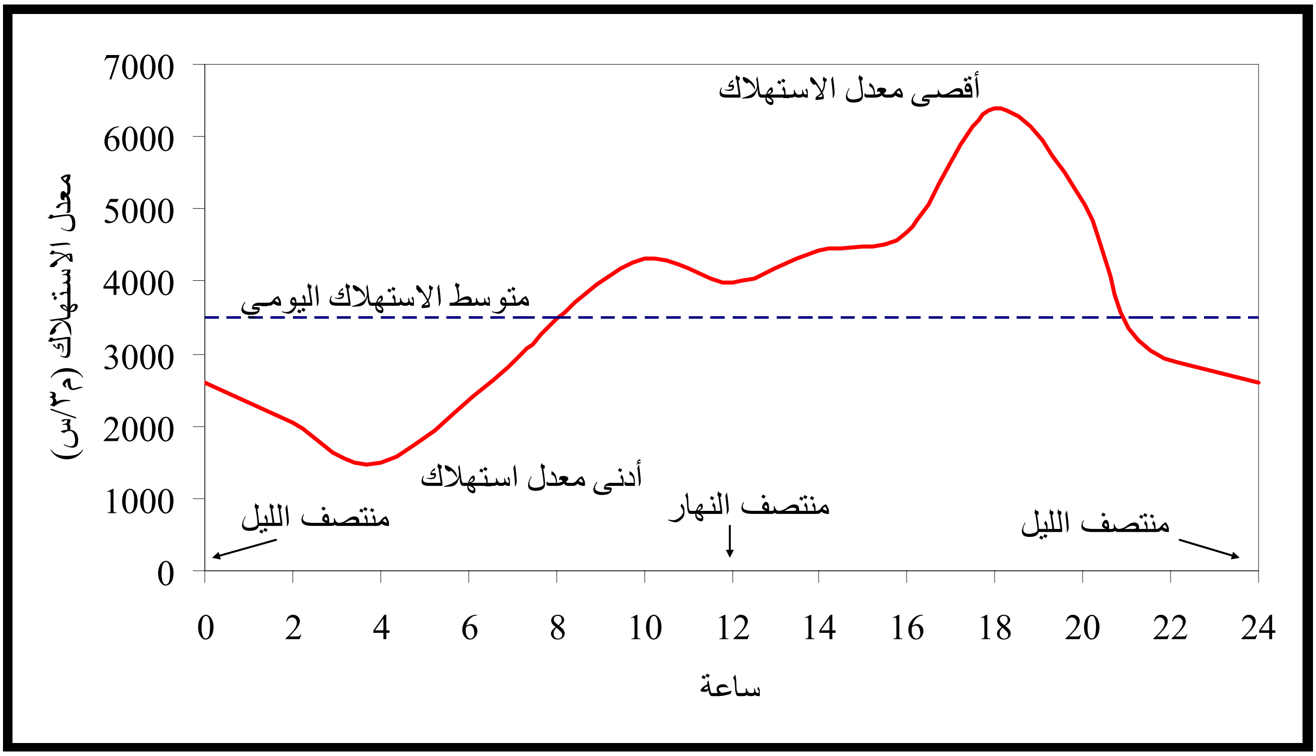
تعد الكثافة السكانية من أهم العناصر التي يتوقف عليها التصميم الهندسي لشبكات الإمداد بالمياه و شبكات الصرف الصحي. وتتغير الكثافة السكانية من مدينة لأخرى ومن حي إلى آخر حسب المستوى المعيشي وطبيعة المنطقة ونوعية الوحدات السكانية. وعموما تتراوح قيم الكثافة السكانية كالتالي:

- في حدود ٣٨٠٠ / كم^{٢} في المناطق التي تحتوى على وحدات سكنية منفصلة متباعدة.
- من ٨٨٠٠ إلى ١٠٠٠٠ / كم^{٢} في المناطق التي تحتوى على وحدات سكنية منفصلة ومتقاربة.
- من ٢٥٠٠٠ إلى ٢٥٠٠٠٠ / كم^{٢} في المناطق التي تحتوى على وحدات سكنية مشتركة .

٢- ٧ توقعات الاستهلاك مستقبلاً

تتغير معدلات استهلاك المياه بحسب فصول السنة وأيام الأسبوع، وتختلف على مدار اليوم الواحد تبعاً للأنشطة البشرية. وترتفع هذه المعدلات في العادة في أول أيام الأسبوع وتنخفض في آخره، وتختلف من شهر لآخر حسب طبيعة الجو. فعلى سبيل المثال: يكون شهر أغسطس (فترة الصيف) هو شهر الاستهلاك الأقصى وذلك بسبب الارتفاع في درجات الحرارة. وتتغير هذه المعدلات في اليوم الواحد من وقت لآخر فتكون مرتفعة خلال ساعات النهار وتنخفض خلال فترات الليل. والشكل (٢- ٣) يعطي مثلاً لاختلاف كميات المياه المستهلكة على مدار اليوم الواحد.

ويلزم معرفة معدلات الاستهلاك المستقبلية للمياه للاستعانة بها عند تصميم شبكات الإمداد بالمياه أو توسيعها. ويتم تقدير متوسط استهلاك الفرد على مدار السنة بحساب مجموع الاستهلاك للمدينة في سنة كاملة وتقسيمه على عدد أيام السنة ثم على تعداد سكان المدينة. وتحسب معدلات الاستهلاك القصوى الشهرية والأسبوعية واليومية والساعية كنسبة مئوية لمتوسط الاستهلاك السنوي للفرد الواحد.



الشكل (٢- ٣): التغير في معدلات الاستهلاك اليومي.

وعليه تكون معدلات الاستهلاك كالتالي:

- أقصى استهلاك شهري = ١٢٨ ٪ من متوسط الاستهلاك السنوي.
- أقصى استهلاك أسبوعي = ١٤٨ ٪ من متوسط الاستهلاك السنوي.
- أقصى استهلاك يومي = ١٨٠ ٪ من متوسط الاستهلاك السنوي.
- أقصى استهلاك ساعي = ١٥٠ ٪ من متوسط الاستهلاك السنوي لذلك اليوم.

مثال (٢- ٣):

احسب أقصى استهلاك ساعي من الماء لمدينة إذا علمت أن متوسط الاستهلاك السنوي فيها هو ٤٧٠ لتر/ شخص/ يوم.

الحل:

أقصى استهلاك ساعي = (٤٧٠)× (١,٨)× (١,٥) = ١٢٦٩ لتر/شخص/ يوم

٢- ٨ استخدام المياه في إطفاء الحرائق

بالرغم من أن كميات المياه المستخدمة في إطفاء الحرائق أثناء العام قد لا تتعدى رقمًا صغيرًا بالنسبة للاستهلاك العام للمدينة، إلا أنه عند حدوث حريق في المدينة فإن معدل استهلاك المياه لمقاومة الحرائق يصل أضعاف الاستهلاك العام للمياه مما يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند تصميم شبكات توزيع المياه. وتستخدم طرق عديدة لحساب معدلات المياه اللازمة لإطفاء الحرائق وقد تختلف هذه المعادلات من دولة إلى أخرى حسب المواصفات الخاصة بكل دولة والنظم المستعملة فيها. ومن أهم المعادلات المستخدمة في حساب التدفق (flow) اللازم لمقاومة الحريق المعادلة التالية:

$$F = 18\, C\, (A)^{0.5} \qquad (٢- ٥)$$

حيث:

F: التدفق اللازم لمقاومة الحريق (جالون/ دقيقة) أي (لتر/ دقيقة/ ٣,٧٨٥).

(الجالون الأمريكي = ٣,٧٨٥ لتر)

C: معامل يعتمد على نوع المبنى.

A: المساحة الإجمالية لأرضية المبنى (متر^٢ × ١٠,٧٦).

ويتوقف التدفق اللازم لمقاومة الحرائق على عوامل كثيرة منها التعداد السكاني، طبيعة المنطقة ونوعية الوحدات السكنية ويجب أخذ العناصر التالية في الاعتبار عند حساب التدفق:

- تؤخذ قيم C من ١,٥ كأقصى قيمة بالنسبة للمنشآت الخشبية إلى ٠,٦ كأدنى قيمة بالنسبة للمنشآت التي تقاوم الحرائق.
- أن لا يتعدى التدفق اللازم للحرائق عن ٣٠٢٤٠ لتر/ دقيقة في جميع الحالات وعن ٢٢٦٨٠ لتر/ دقيقة بالنسبة للمباني بطابق واحد، وأن لا يقل عن ١٨٩٠ لتر/ دقيقة في جميع الحالات.
- يستخدم الجدول (٢- ٢) لحساب التدفق اللازم لإطفاء الحرائق للوحدات السكنية الفردية والزوجية.
- يجب إبقاء التصرف اللازم للحرائق على الأقل لمدة ٤ ساعات كما هو موضح في الجدول (٢- ٣) وعمومًا تتطلب أغلب الوحدات ١٠ ساعات مدة تصرف لازمة.
- كمية الماء القصوى اللازمة = (التصرف اللازم للحرائق) + (الاستهلاك اليومي الأقصى).

وتستخدم بكرات الإطفاء كإسعاف أولي لمقاومة الحريق داخل المباني، حيث من الممكن إخماد النيران في بدايتها. وتعطي كل بكرة إطفاء معدل تدفق يصل إلى ٠,٩ م^٣ / دقيقة، وهذا يكفي لخدمة مساحة أفقية تصل إلى حوالي ٤٠٠ متر مربع.

الجدول (٢- ٢): التدفق اللازم لإطفاء الحريق للوحدات السكنية الفردية والزوجية.

المسافة بين الوحدات السكانية المجاورة (متر)	التدفق اللازم لإطفاء الحرائق (لتر/ دقيقة)
أكبر من ٣٠,٥	١٨٩٠
٣٠,٥ إلى ٩,٥	٢٨٣٥ - ٣٧٨٠
٩,٥ إلى ٣,٤	٣٧٨٠ -٥٦٧٠
أقل من ٣,٤	٥٦٧٠ -٧٥٦٠

الجدول (٢- ٣): المدة الزمنية التي يحتاجها التدفق لإطفاء الحرائق.

التدفق اللازم لإطفاء الحرائق (لتر/ دقيقة)	المدة الزمنية (ساعة)
أقل من ٣٧٨٠	٤
٣٧٨٠ - ٤٧٢٥	٥
٤٧٢٥ - ٥٦٧٠	٦
٥٦٧٠ - ٦٦١٥	٧
٦٦١٥ - ٧٥٦٠	٨
٧٥٦٠ - ٨٥٠٥	٩
أكثر من ٨٥٠٥	١٠

وهناك معادلات افتراضية لتقدير كمية المياه اللازمة لمقاومة الحرائق من أهمها:

- Kuickling Formula: $Q = 1020\sqrt{P}\left(1 - 0.01\sqrt{P}\right)$ (٢- ٦)
- National Board of fire Underwriters: $Q = 700\sqrt{P}$ (٢- ٧)
- Freeman John R. Formula: $Q = 250\left(\frac{P}{5} + 10\right)$ (٢- ٨)

حيث:

Q: كمية الماء اللازمة (جالون /دقيقة = ٣٫٧٨٥ لتر/دقيقة)

P: التعداد السكاني (آلاف).

مثال (٢- ٤):

احسب التدفق اللازم لإطفاء حريق محتمل على مبنى متكون من ٦ طوابق ومساحة كل طابق تساوى ١٠٠٠ م². علمًا بأن المبنى موجود في منطقة سكنية تعدادها ٣٠٠٠٠ نسمة ومتوسط استهلاك المياه للشخص فيها ٤٧٠ لتر/ شخص/ يوم.

الحل:

- متوسط الاستهلاك الإجمالي: $30000 \times 470 = 14.1 \times 10^6 \ l/day$
- أقصى استهلاك يومي إجمالي: ١٨٠ ٪ من متوسط الاستهلاك الإجمالي

$$\left(14.1 \times 10^6\right) \times 1.8 = 25.38 \times 10^6 \, l/day$$

- التدفق اللازم لإطفاء الحرائق المحتملة في المبنى $(C=1)$:

$$F = 18\, C \left(A\right)^{0.5}$$

$$F = 18 \times 1 \times \left(6 \times 1000 \times 10.76\right)^{0.5} \times 3.785 = 17310.92 \ \ l/\min = 24.93 \times 10^6 \ \ l/day$$

- أقصى معدل استهلاك:

$$\left(25.38 \times 10^6\right) + \left(24.93 \times 10^6\right) = 50.31 \times 10^6 \ l/day$$

- التصرف الإجمالي اللازم لذلك اليوم (يجب إبقاء التصرف اللازم للحريق في الشبكة لمدة ١٠ ساعات في اليوم الواحد وبذلك يتم ضرب كمية المياه اللازمة للحرائق في $\frac{10}{24}$):

$$\left(25.38 \times 10^6\right) + \left(24.93 \times 10^6\right) \times \frac{10}{24} = 35.76 \times 10^6 \ l/day = \frac{35.76 \times 10^6}{30000} = 1192 \ \ l/person/day$$

مثال (٢- ٥):

أوجد كمية الماء اللازمة لإطفاء حريق محتمل في مدينة تعداد سكانها ١٠٠٠٠٠ نسمة.

الحل:

$$Q = 1020 \times \sqrt{100} \times \left(1 - 0.01 \times \sqrt{100}\right) \times (3.785) = 34746.3\, l/\min = 2084.778\, m^3/hr$$

كمية الماء اللازمة لإطفاء الحرائق:

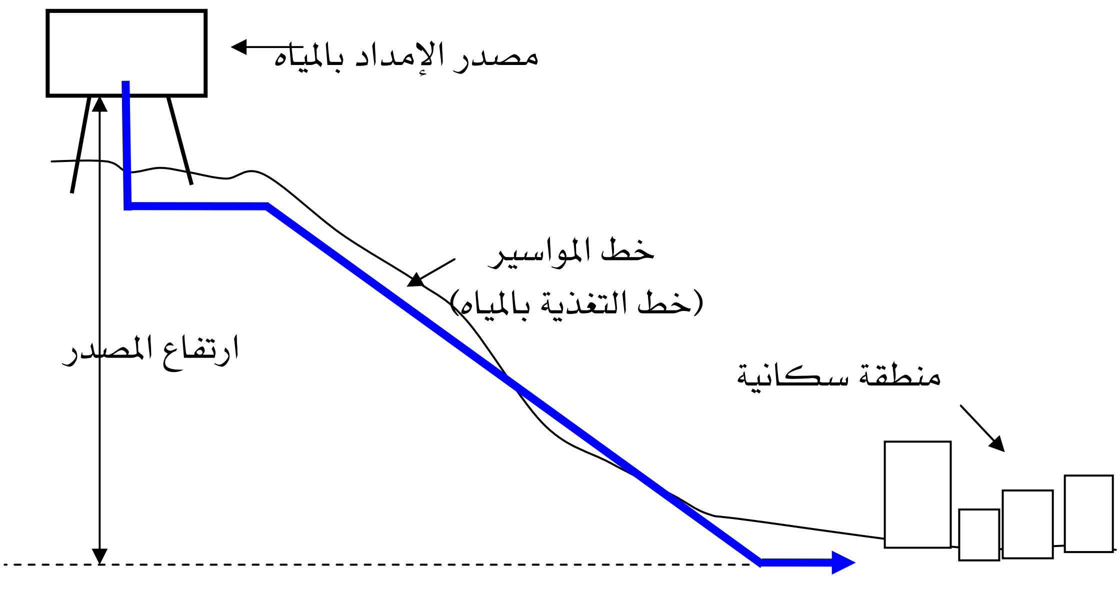
$$= 10 \times (2084.778) = 20847.78\, m^3/day$$

٢- ٩ طرق توزيع المياه في المدن

هنالك طرق عديدة لتوزع المياه إلى المدن يتم اختيار المناسب منها حسب طبوغرافية المنطقة والمعطيات والظروف الخاصة بها ومن هذه الطرق:

٢- ٩- ١ التوزيع بواسطة الانحدار

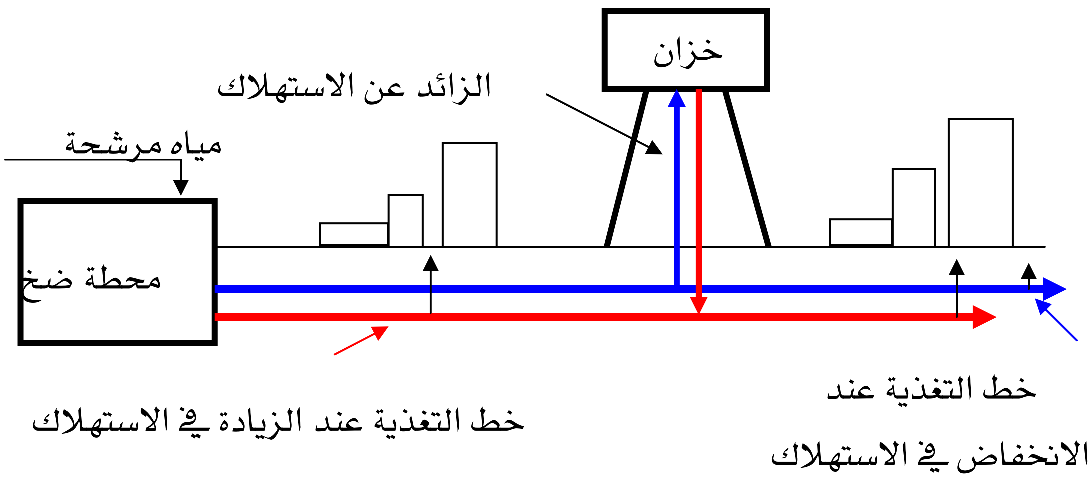
تستخدم هذه الطريقة عندما يكون اتجاه سريان المياه داخل المواسير هو نفس اتجاه ميل الأرض الطبيعية كما هو مبين في الشكل (٢- ٤). ويكون مصدر الإمداد بالمياه على ارتفاع مناسب من المدينة حتى يسمح بإبقاء الضغط داخل الشبكة كافياً لتوزيع المياه بالمعدلات المطلوبة للاستعمالات المنزلية والصناعية ومقاومة الحرائق. وتعد هذه الطريقة من أفضل الطرق إذا كانت الأنابيب الرئيسية والفرعية الموصلة للمياه مصممة جيداً لمقاومة الكسور العارضة.



الشكل (٢- ٤): التوزيع بواسطة الانحدار.

٢- ٩- ٢ التوزيع بواسطة الضخ والتخزين

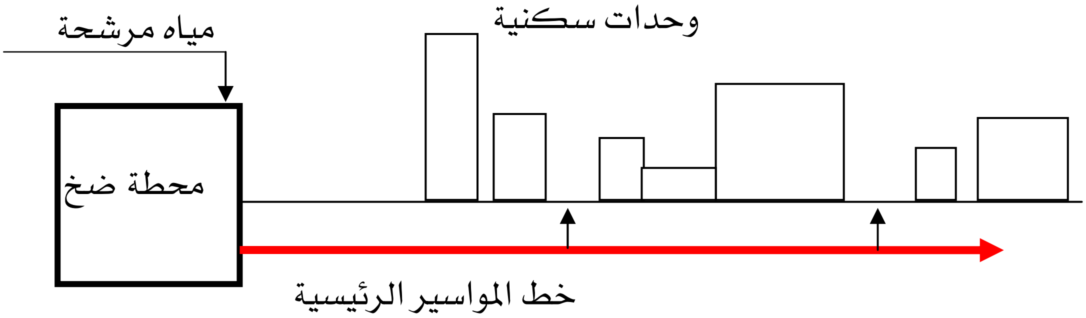
يتم في هذه الطريقة ضخ كميات المياه الزائدة بمضخات رفع خلال الساعات التي تنخفض فيها معدلات الاستهلاك، ثم تخزن في خزانات أو أحواض علوية لكي يستعان بها خلال الفترات التي تزيد فيها معدلات الاستهلاك أو تتوقف فيها المضخات عن العمل. وتعد هذه الطريقة اقتصادية حيث تقوم الخزانات بعمل موازنة بين معدلات الضخ ومعدلات استهلاك المدينة من المياه كما هو موضح في الشكل (٢- ٥). فحينما يزيد معدل رفع المضخات عن معدل الاستهلاك ترفع الزيادة إلى الخزانات العلوية وحينما يزيد معدل استهلاك المدينة عن معدل الضخ يتم سحب الفرق بين المعدلين من الخزانات العلوية.



الشكل (٢- ٥): التوزيع عن طريق الضخ والتخزين.

٢- ٩- ٣ التوزيع بواسطة الضخ وبدون تخزين

في هذه الطريقة يتم ضخ الماء مباشرة داخل الأنابيب الرئيسية لتصل إلى المستهلك دون أن تمر بخزانات علوية كما في الشكل (٢- ٦) بحيث تعمل المضخات بمعدلات ثابتة خلال ٢٤ ساعة. وهذه الطريقة غير مرغوب فيها لأن أي خلل في المضخات أو عطل كهربائي سوف يؤدي إلى انقطاع الماء كلياً عن المستهلك. كما أن التغير في معدلات الاستهلاك يؤدي إلى تذبذب في ضغط الماء داخل الأنابيب.



الشكل (٢- ٦): التوزيع عن طريق الضخ المباشر (بدون تخزين).

٢- ١٠ خزانات المياه الأرضية

تنشأ خزانات المياه الأرضية عادة تحت سطح الأرض وتبنى في الغالب من الخرسانة المسلحة أو من مباني الطوب حسب العوامل الإنشائية للأحواض، ويتم تحديد سعتها حسب معدلات المياه المطلوبة للاستهلاك. وتنشأ هذه الخزانات للأغراض الآتية:

- لضمان استمرار الامداد بالمياه في حالة زيادة المعدلات المطلوبة.
- في حالات الأعطال التي يمكن أن تتعرض لها وحدات التنقية بمراحلها المختلفة.
- لسد الاحتياجات الضرورية وغير المتوقعة مثل مقاومة الحرائق.

ويفضل تقسيم الخزان إلى جزأين يمكن تشغيلها كحوض واحد، ويمكن تشغيل كل حوض على حدة، والتحكم في طريقة التشغيل بواسطة وصلات مزدوجة وصمامات على كل وصلة. وتزود ماسورة المدخل بصمام عوامة للتحكم في دخول المياه في حالة زيادة منسوب المياه عن العمق التصميمي لضمان عدم فيضان المياه. ويزود سقف الحوض بفتحات عليها أغطية يمكن رفعها عند اللزوم وهوايات لا تسمح بدخول الأتربة من خلالها. ويفضل أن يكون السقف أعلى من سطح الأرض بمسافة لا تقل عن نصف متر لحمايته من الأتربة والعوامل الأخرى. وتزود الخزانات بسلالم في الداخل تناسب نزول العمال للصيانة والغسيل.

٢- ١١ خزانات المياه العلوية

يكون تخزين المياه ضرورياً في حالة تشغيل مضخات الرفع العالي بمعدلات ثابتة لمدة ١٢ ساعة متواصلة أو أكثر، حيث يتم تخزين المياه في خزانات علوية عندما تكون معدلات الاستهلاك منخفضة حتى يستعان بها في ساعات الاستهلاك القصوى. وتعمل الخزانات العلوية على توفير المياه في حالة معدلات الاستهلاك الدنيا وعلى تزويد المنطقة بالمياه في حالة معدلات الاستهلاك القصوى. ويمكن تلخيص الأغراض من إنشاء الخزانات العلوية في التالي:

١. حفظ ضغط كافٍ في الشبكة (مواسير التوزيع).

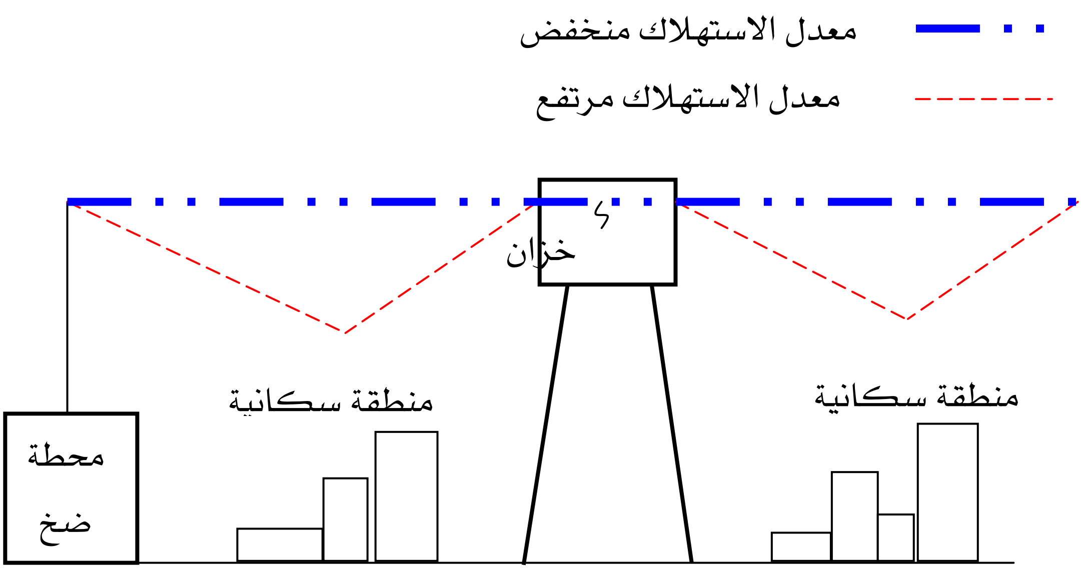
٢. تغذية المدينة بالمياه عندما يكون معدل تصرف الطلمبات أقل من معدل استهلاك المياه في المدينة.

ويتم اختيار مواقع الخزانات العالية في أماكن متوسطة من شبكة التوزيع أو في أحد أطرافها، ويوضح الشكل (٢- ٧) مثال لأفضل موقع للخزان. ويعتمد إنشاء الخزان على سعة التخزين، وارتفاعه فوق سطح الأرض وخصائص التربة والمواد التي سينشأ منها، وعلى تكلفة الإنشاء. وأكثر الخزانات العلوية استخداماً هي التي تنشأ من الخرسانة المسلحة كما في الشكل (٢- ٨). وفي بعض الأحيان تنشأ من الحديد أو الألمنيوم، حسب تكلفة وظروف المشروع. ويعتمد ارتفاع الخزانات أساساً على معدلات الاستهلاك، وتشغيل الشبكة وعلى الضغط المطلوب في الشبكة. ويشمل التخزين ثلاثة أجزاء رئيسة هي:

١. احتياط حالات الطوارئ: وهو احتياطي التخزين اللازم لحالات الأعطال في وحدات التوزيع.

٢. احتياط الحرائق: وهو الاحتياطي اللازم لإطفاء الحرائق.

٣. مخزون التشغيل: وهي الكمية التي توزع يومياً للاستهلاك.



الشكل (٢- ٧): أفضل موقع للخزان العلوي.



الشكل (٢- ٨): نموذج لخزان علوي من الخرسانة المسلحة.

٢- ١٢ كميات التخزين اللازمة

لتحديد سعة التخزين اللازمة لشبكات التوزيع يجب حساب العناصر التالية:

١. سعة التخزين = احتياط حالات الطوارئ + احتياط الحرائق + مخزون التشغيل.

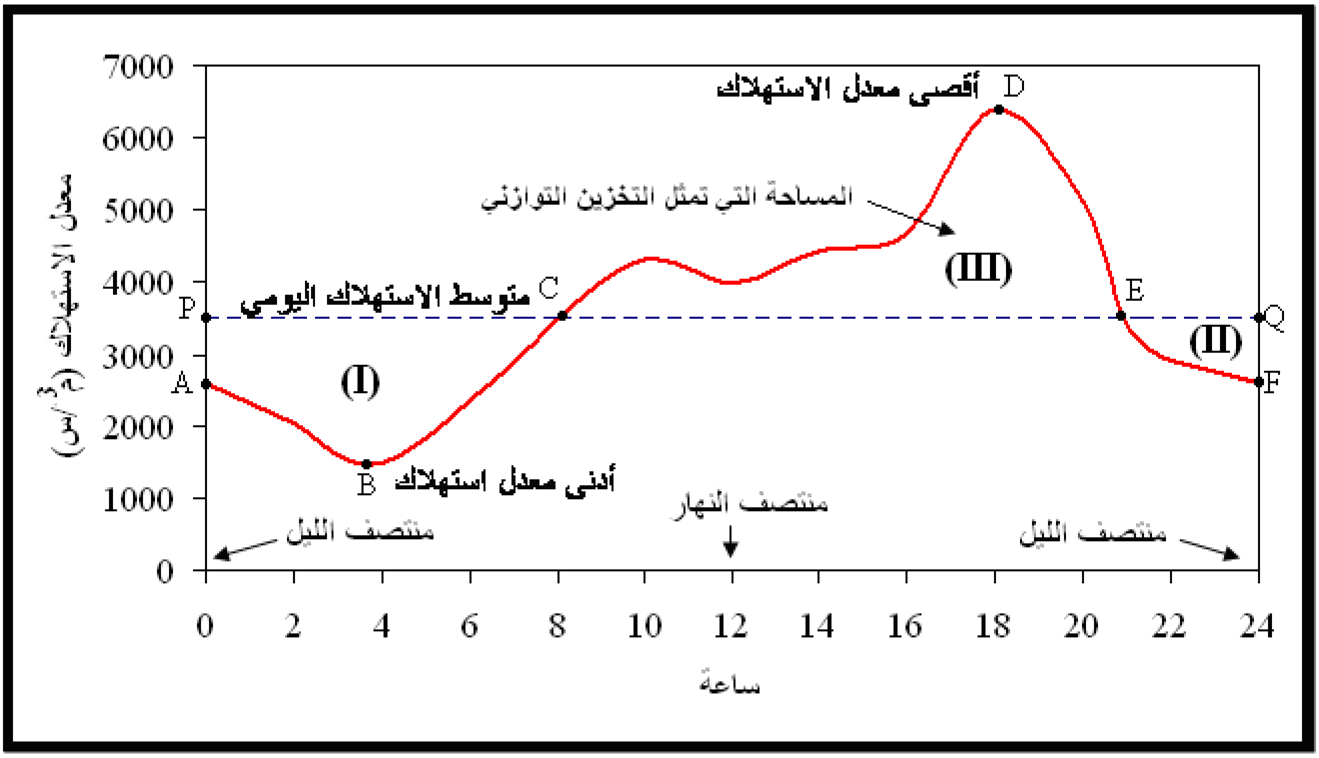
٢. احتياط حالات الطوارئ: ويؤخذ في الغالب ٢٥٪ من مخزون التشغيل للخزان.

٣. احتياط الحرائق: ويحسب من العلاقات (٢- ٦) أو (٢- ٧) أو (٢- ٨).

٤. مخزون التشغيل: وهو معدل السحب اليومي من الخزان لشبكة التوزيع، ولحساب ذلك يلزم:

- عمل بيانات مفصلة عن العلاقة بين معدلات الاستهلاك وساعات اليوم في حالات الاستهلاك القصوى كما هو موضح في الشكل (٢- ٩).
- تحديد متوسط الاستهلاك اليومي: وهو متوسط الضخ اليومي للمياه الموضح في الرسم البياني بالخط (PCEQ).
- حساب المساحات (I)، (II)، و(III)
- تحديد مخزون التشغيل: المساحة (I) + المساحة (II) = المساحة (III)

٥. سعة التخزين = (١,٢٥ × مخزون التشغيل) + (احتياط الحرائق)



الشكل (٢- ٩): معدل الاستهلاك اليومي.

٢- ١٣ الزمن الافتراضي لمشروع التغذية بالمياه.

يتم تصميم مشروعات الإمداد بمياه التغذية لتخدم فترة زمنية تناسب ظروف تمويل المشروع وتغيير العوامل التي تؤثر في حساب حجم المشروع وتكاليفه ومدى إمكانية تجديد أو عمل إضافات للمنشآت، كلما احتاج الأمر لذلك، ويؤثر في هذه الدراسات العمر الافتراضي لمنشآت المشروع. ويراعي ألا يكون التصميم للاحتياجات الحالية فقط، لأن معنى ذلك أن المشروع لن يناسب الزيادات المنتظرة في معدلات استهلاك المياه في المستقبل. وفي نفس الوقت لا يكون التصميم لخدمة فترة زمنية أطول من اللازم، لأن هذا معناه أن تتحمل الخطة الحالية لمثل هذه المنشآت عبئاً أكبر.

أسئلة وتمارين:

١. عَدِّدْ مصادر المياه الطبيعية مع شرح مختصر لكل منها.

٢. تقسم كميات المياه التي تزود بها المدن إلى عدة أقسام وذلك حسب الغرض من استهلاكها. عدد هذه الأقسام مع شرح مختصر لكل منها.

٣. اشرح خطوات الدراسات الأولية لمشروعات الإمداد بمياه التغذية.

٤. عدد طرق حساب التعداد السكاني مع شرح مختصر لكل منها.

٥. اشرح الأغراض من إنشاء خزانات المياه الأرضية والعلوية.

٦. إذا كان التعداد السكاني لعام ٢٠٠٠ يساوي ١٠٠٠٠٠، ونسبة الزيادة تساوي ٥٪، فاحسب التعداد السكاني لعام ٢٠١٠ و ٢٠٢٠ و ٢٠٣٠ و ٢٠٤٠ و ٢٠٥٠ باستخدام الطريقة الهندسية.

٧. الجدول الآتي يوضح تعداد السكان لإحدى المدن في الفترة من عام ١٩٦٠ م وعام ٢٠٠٠ م، والمطلوب حساب التعداد المتوقع للمدينة في الخمسين سنة المقبلة وذلك باستخدام الطريقة الجبرية والهندسية.

السنة الميلادية	١٩٦٠	١٩٧٠	١٩٨٠	١٩٩٠	٢٠٠٠
التعداد	٢٠٠٠٠٠	١٢٠٠٠٠	٢٢١٠٠٠	٢٣٠٠٠٠	٢٤٣٠٠٠

٨. احسب أقصى استهلاك ساعي من الماء لمدينة إذا علمت أن متوسط الاستهلاك السنوي فيها هو ٣٤٠ لتر/ شخص/ يوم.

٩. احسب التدفق اللازم لإطفاء حريق محتمل على مبنى متكون من ٥ طوابق ومساحة كل طابق تساوى ٩٠٠ م^{٢}. علماً بأن المبنى موجود في منطقة سكنية تعدادها ٣٢٠٠٠ نسمة ومتوسط استهلاك المياه فيها ٥٧٠ لتر/ شخص/ يوم.

شبكات المياه والصرف الصحي

شبكات توزيع المياه

الوحدة الثالثة : شبكات توزيع المياه

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذا الفصل العوامل المؤثرة في معدلات الاستهلاك المختلفة للمياه، وأساسيات التصميم الهندسي لمشروعات الإمداد بمياه التغذية.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون المتدرب بإذن الله قادراً على:

١. أسس تصميم شبكات توزيع مياه التغذية.
٢. أنواع المواسير المستخدمة في شبكات توزيع المياه ومقاساتها.
٣. قراءة الرسومات والمخططات لمشاريع شبكات توزيع المياه.
٤. الإشراف على تنفيذ مشروعات شبكات توزيع مياه التغذية.
٥. صيانة شبكات توزيع مياه التغذية.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل: ١٠ ساعات.

شبكات توزيع المياه

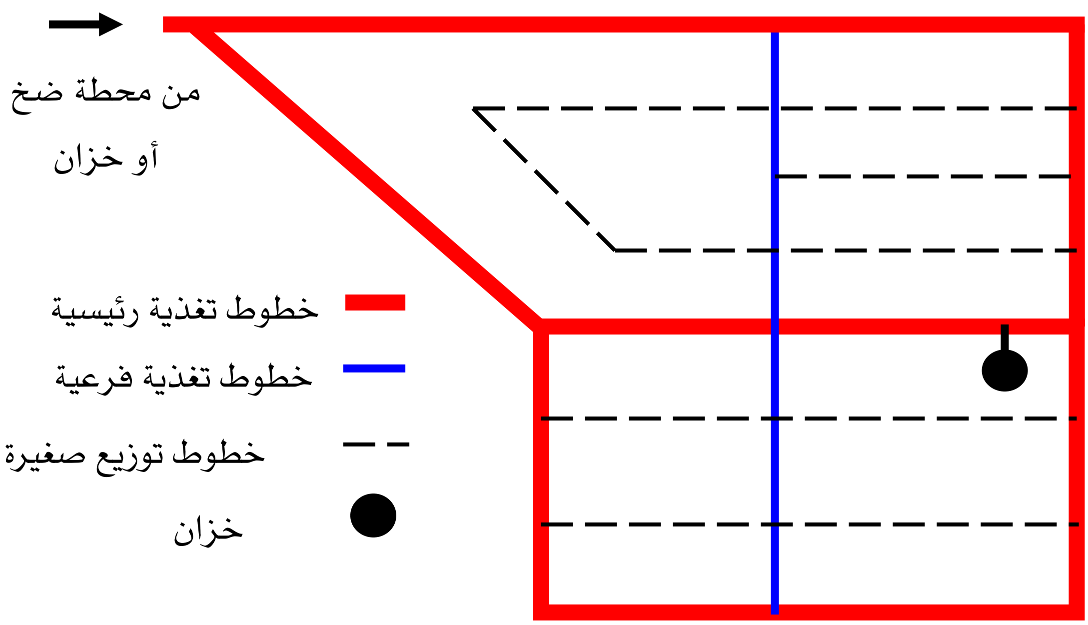
٣- ١ مقدمة

تعدّ شبكات توزيع المياه من أهم المرافق الخدمية، بل تعدّ من البنية التحتية الأساسية التي تحتاجها المناطق السكنية والتجارية والصناعية. وتتكون شبكات توزيع المياه من الأجزاء التالية:

١. **خطوط التغذية الرئيسة** (Primary Feeders): وتستخدم لنقل كميات المياه الكبيرة من محطات الضخ إلى الخزانات العلوية ومن الخزانات العلوية إلى الأجزاء المختلفة للمنطقة التي ستزود بالمياه كما هو موضح في الشكل (٣- ١). ويجب أن تزود الخطوط الرئيسة بصمامات تعديل الضغط في النقاط المنخفضة وفي النقاط المرتفعة، وكذلك عند الربط مع أنابيب التوزيع اللازمة.

٢. **خطوط التغذية الفرعية** (Secondary Feeders): تستخدم لنقل كميات المياه الكبيرة من الخطوط الرئيسة إلى الأجزاء المختلفة للمنطقة التي ستزود بالمياه. والشكل حلقات صغيرة بانتقالها من خط رئيسي لآخر كما هو مبين في الشكل (٣- ١).

٣. **خطوط التوزيع الصغيرة** (Small Distribution Mains): تستخدم لنقل المياه من خطوط التغذية الرئيسة والفرعية إلى أنابيب المباني وحنفيات الحريق.



الشكل (٣- ١): شبكات توزيع المياه.

٣- ٢ أساسيات تصميم شبكات توزيع المياه

تصمم شبكات توزيع المياه لتخدم فترة زمنية تقارب العمر الافتراضي للأنابيب، وعلى هذا الأساس يتم حساب التدفق التصميمي ومنه يتم تحديد نوع وحجم الأنابيب، وموقع وسعة الخزانات وطاقة الضخ اللازمة لذلك. وهناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم شبكات التوزيع أهمها:

١. طبوغرافية المنطقة.

٢. التعداد الحالي والمستقبلي للسكان.

٣. الاستهلاك المتوقع للشخص.

٤. الاحتياجات اللازمة من المياه لمقاومة الحريق.

٥. الاحتياجات اللازمة من المياه لأعمال الصناعة والتجارة.

ويلزم مراعاة الأسس التالية عند تصميم شبكات توزيع المياه:

١. يكون التصميم لتخدم الشبكة فترة زمنية تقارب العمر الافتراضي للمواسير، وعلى هذا الأساس يتم حساب التصرف التصميمي، وتخدم شبكة التوزيع مدة لا تقل عن ٤٠ سنة.

٢. يتم اختيار التصرف التصميمي على أساس القيمة الأكبر من:

- (٢,٥ - ٣) مرات من التصرف المتوسط، أو
- التصرف المتوسط + معدل مقاومة الحريق.

٣. يكون الفاقد في الضغط نتيجة الاحتكاك في حدود (٢ - ٣) في الألف على أساس أن سرعة المياه في المواسير حوالي (٨٠ - ١٢٠) سم/ ثانية في المتوسط، في حالة سريان التصرف التصميمي في المواسير.

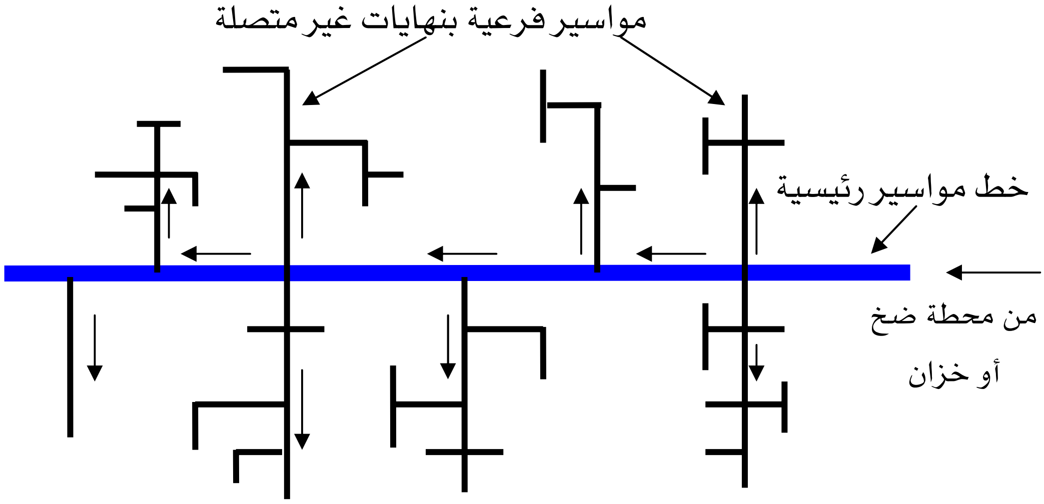
٤. يمكن زيادة ١٠٪ من أطوال مواسير الشبكة مقابل الفاقد في الضغط في محابس المياه.

٣- ٣ تخطيط شبكات التوزيع

لتخطيط شبكات توزيع المياه فإنه تستخدم إحدى الأنظمة التالية:

١. نظام الخطوط بنهايات غير متصلة (Dead End System):

ويشمل خطوط رئيسية تتفرع منها مواسير فرعية تنتهي بنهايات مقفلة كما في الشكل (٣- ٢). وبالرغم من أن هذه الطريقة تعد الأقل في التكاليف، إلا أن كثرة النهايات بها تؤدي إلى حرمان مناطق كثير من المدينة من المياه بسبب غلق الخطوط للقيام بأعمال إصلاحات أو صيانة.



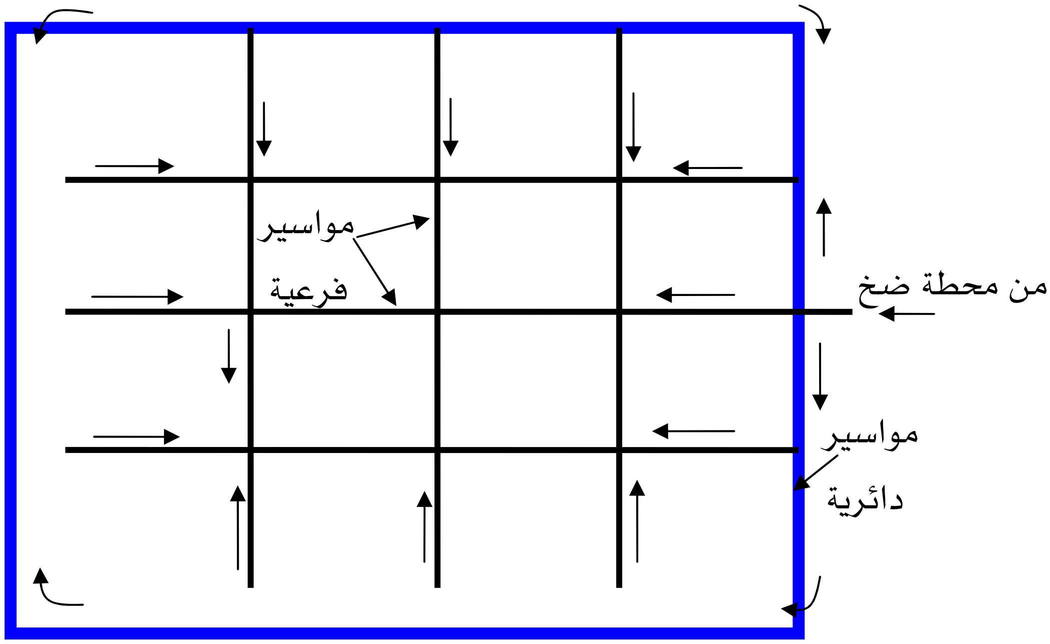
الشكل (٣- ٢): شبكة توزيع بها نهايات غير متصلة.

٢. النظام الدائري لتوزيع المياه (Ring System):

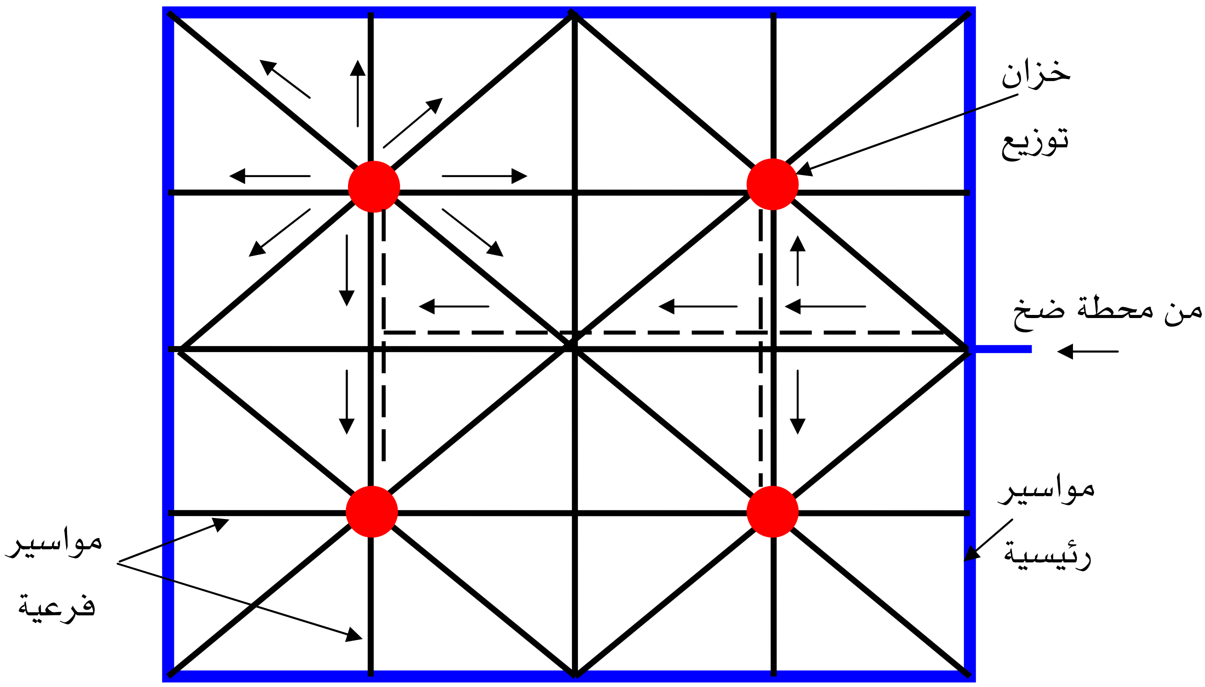
ويشمل ماسورة رئيسية تحيط بالمدينة ويتفرع منها مواسير فرعية لا تشمل على نهايات مقفلة كما هو مبين في الشكل (٣- ٣). وتمكن هذه الطريقة القيام بأعمال إصلاحات على أي خط من الشبكة دون التأثير على الخطوط الأخرى.

٣. النظام القطري لتوزيع المياه (Radial System):

يعتمد هذا النظام على تقسيم المدينة إلى مناطق ويوضع في مركز كل منطقة خزان مياه للتوزيع في اتجاه محيط المدينة كما هو مبين في الشكل (٣- ٤). وفائدة هذا النظام أن المياه تحتفظ بمعدل التصرف والضغط العالي حتى بداية توزيعها.



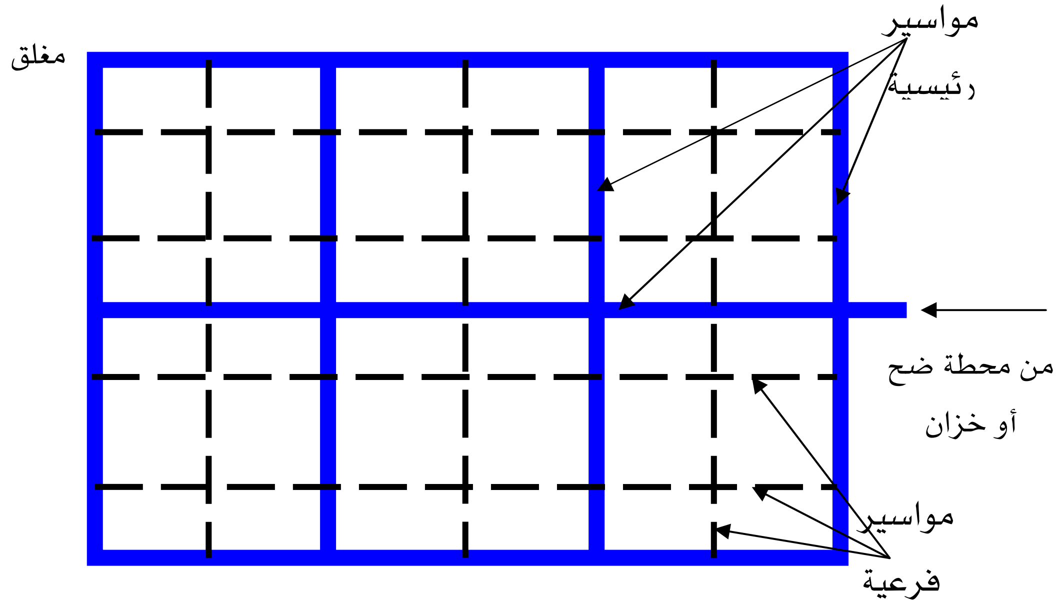
الشكل (٣- ٣): النظام الدائري لتوزيع المياه.



الشكل (٣- ٤): شبكة توزيع بنظام قطري.

٤. النظام الشطرنجي لتوزيع المياه (Grid System):

ويشمل ماسورة رئيسية تحيط بالمدينة بالإضافة إلى مواسير أخرى رئيسية ومواسير فرعية تكون بداخل الشبكة كما هو مبين في الشكل (٣- ٥). ويعد هذا النظام الأفضل بالنسبة لضغط المياه في المواسير إلا أنه مكلف نسبيًا.



الشكل (٣- ٥): النظام الشطرنجي في توزيع المياه.

٣- ٤ ضغط المياه داخل المواسير

تختلف الضغوط داخل شبكات التوزيع من مدينة لأخرى ومن مكان لآخر حسب معدلات الاستهلاك والضغوط المطلوبة، وتأخذ في الغالب القيم التالية:

- ما بين (١٥٠ – ٢٠٠) kPa للاستخدام العادي في المناطق السكنية ذات المباني التي لا تتعدى أربعة أدوار.
- ٤٠٠ kPa للمناطق السكانية المزودة بوحدات إطفاء.
- ٥٠٠ kPa للمناطق التجارية.

وتجدر ملاحظة الأمور التالية:

- عندما يكون الضغط داخل الشبكة أقل من ٣٥٠ kPa، يكون ضغط الماء في الطوابق العلوية للمباني المتكونة من ٦ أدوار في حدود ١٥٠ kPa.
- عندما يكون الضغط داخل الشبكة أقل من ٢٠٠ kPa، فلن تصل المياه إلى الأدوار العلوية للمباني المتكونة من أربع أدوار.

وتوصى بعض الجهات العالمية أن يكون الضغط الطبيعي داخل الشبكة من ٤٠٠ إلى ٥٠٠ kPa بهدف:

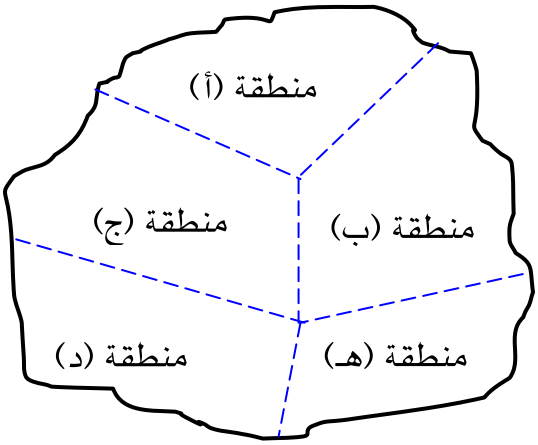
- تزويد المباني التي تصل إلى ١٠ أدوار بمياه كافية للاستهلاك.
- تدفق كافٍ لوحدات الإطفاء.
- تعويض الفاقد في أطوال المواسير والناتج عن التسرب المفاجئ في المواسير.

٣- ٥ ضغط المياه في المناطق

يختلف ضغط المياه في الشبكة من منطقة لأخرى باختلاف طبوغرافية المناطق والكثافة السكانية ونوعية المواد المصنوعة منها أنابيب الشبكات. ويجب تحديد الضغط المناسب لكل منطقة كما هو مبين في الشكل (٣- ٦) وذلك لسببين رئيسين هما:

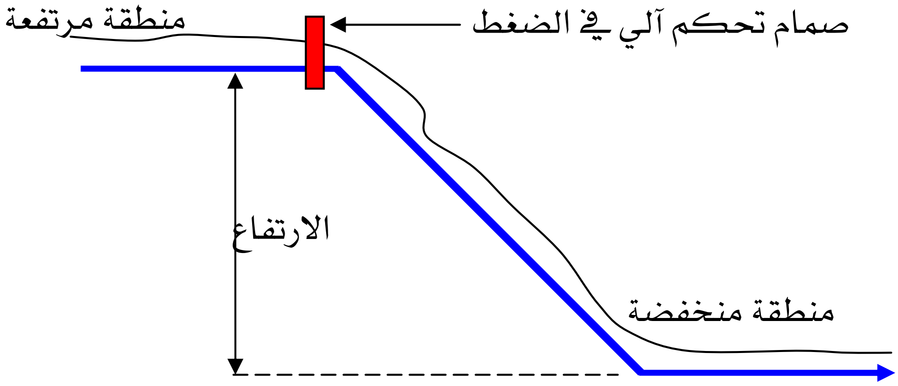
١. المحافظة على الشبكات الموجودة في المناطق المنخفضة من الضغوط المرتفعة، والتي قد تسبب تسرب للمياه أو كسر في المواسير.

٢. المحافظة على الأجزاء القديمة من الشبكة والتي قد لا تتحمل الضغوط المرتفعة.



الشكل (٣- ٦): تحديد الضغط في المناطق.

ولتفادي هذه المشاكل يمكن استخدام صمام تحكم آلي لتعديل الضغط المناسب لكل منطقة تحتاج لذلك، كما هو مبين في الشكل (٣- ٧).



الشكل (٣- ٧): استخدام صمامات تحكم آلي لتعديل الضغط.

٣- ٦ أنواع المواسير ومقاساتها

تستخدم أنواع عديدة من المواسير في شبكات توزيع المياه وتوصيلها إلى مناطق الاستعمال كالمباني السكنية والتجارية والمصانع وغيرها. وتختلف في تكلفتها حسب مكوناتها وطريقة صناعتها ومتانتها ومدى مقاومتها لضغط المياه. ويلزم توفر الشروط التالية في المواد التي تصنع منها المواسير:

- قدرتها على تحمل الضغوط الداخلية والخارجية.

- مقاومتها للتآكل الداخلي والخارجي لفترة طويلة (العمر الافتراضي).
- تحملها لدرجات حرارة مرتفعة.
- احتواؤها لوصلات محكمة تمنع التسرب.

ومن أهم أنواع المواسير:

١. **مواسير الحديد الزهر**: وتمتاز بمقاومتها للتآكل والصدأ وتحملها للضغوط الداخلية والخارجية وسهولة وتركيبها، وقد يصل عمرها الافتراضي إلى ١٠٠ سنة، وتنتج عادة بأقطار تصل إلى ١٢٠ سم.

٢. **مواسير الصلب**: وهذه المواسير أخف وزنا من مواسير الحديد الزهر وبالتالي أقل مقاومة للتآكل والصدأ. وتمتاز بتحملها للضغوط العالية وبسهولة نقلها وتركيبها. وتنتج عادة بأقطار متعددة لا تتعدى ٢٥٠ سم ويكون سعرها مرتفعاً نسبياً.

٣. **مواسير خرسانية**: وتصنع من الخرسانة العادية أو المسلحة وتستخدم عادة للإمدادات الطويلة، وقد تصل أقطرها إلى ١٨٠ سم. وتمتاز هذه المواسير بمقاومتها للتآكل والصدأ وبتحملها للضغط الخارجي وبانخفاض سعرها مقارنة بالمواسير الأخرى. ومن عيوبها أنها لا تتحمل الضغوط الداخلية العالية وأن التسرب من وصلاتها عال، كما أنها ثقيلة الوزن وبالتالي يصعب نقلها وتركيبها.

٤. **مواسير بلاستيكية**: وينتج منها أنواع كثيرة بأقطار تصل إلى ٣٠ سم. وتختلف في أثمانها حسب متانتها ومدى مقاومتها للضغط. وتمتاز بمقاومتها العالية للتآكل والصدأ وبسهولة نقلها وتركيبها وكذلك بسهولة ثنيها وقلة تكاليفها. ومن عيوبها أنها ضعيفة المقاومة للحرارة.

٥. **مواسير الإسبستس**: وتصنع من ألياف الإسبستس والإسمنت وتتميز بأنها خفيفة الوزن ورخيصة الثمن، وتكون القطع الخاصة معها من الزهر. وتستخدم هذه المواسير عادة في الأقطار الصغيرة، لأن الأقطار الكبيرة أقل مقاومة للإجهادات.

٦. **مواسير الألياف الزجاجية**: وتتميز بخفة وزنها وسهولة نقلها وتركيبها، وكذلك نعومة سطحها الداخلي ومقاومتها للتآكل، وتختلف وصلاتها حسب نوعية المواسير وأقطارها.

٣- ٧ حساب التدفق وأقطار المواسير

ينقسم السريان داخل المواسير إلى ثلاث أنواع رئيسية ويحدد ذلك عدد رينولدس (Reynolds Number) (Re):

١. سريان لزج تكون خطوط السريان فيه متوازية ويكون عدد رينولدس: $Re < 500$

٢. سريان مضطرب ويكون متقلب وعدد رينولدس: ٥٠٠ $< Re >$ ٢٠٠٠

٣. سريان انتقال حيث: ٢٠٠٠ $< Re$

وبما أن التدفق في أغلب الحالات يكون مضطرباً بالنسبة لمواسير الإمداد بالمياه، فإن عامل الاحتكاك يعتمد على خشونة الأنابيب وكذلك على عدد رينولدس (Re)، وهذه العوامل بدورها تتوقف على سرعة المياه (velocity) في الأنابيب وعلى قطر الأنابيب.

وهناك عدة علاقات رياضية لحساب الفاقد في الضغط (headlosses) نتيجة الاحتكاك، وتعد معادلة هازن وليامس (Hazen-Williams) أكثر العلاقات استخداماً في تصميم شبكات توزيع المياه، ولكنها قائمة على الشروط التالية:

١. أن تكون حرارة الماء عند درجة حرارة الغرفة.

٢. أن تكون سرعة الجريان معتدلة.

٣. أن يكون السريان مضطرباً.

والمعادلة هي:

$$V = 0.849\ CR^{0.63} S^{0.54} = \frac{Q}{A} \qquad (٣-١)$$

حيث:

V: سرعة المياه في الأنبوب (م / ثانية) (Velocity).

R: نصف قطر الأنبوب الهيدروليكي (م) (Hydraulic Radius).

C: ثابت يتعلق بالخشونة النسبية للأنبوب، ويسمى معامل هازن وليامس (Hazen-Williams Coefficient) والجدول (٣- ١) يعطي بعض قيم C.

S: درجة الميل الهيدروليكية (Hydraulic Gradient).

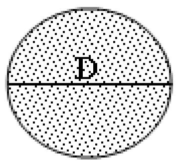
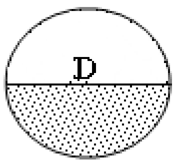
Q: التدفق (م^{٣} / ثانية) (Flow).

A: مساحة الأنبوب الهيدروليكية (م^{٢}) (Hydraulic Area).

ويمكن الحصول عل نصف قطر الأنبوب الهيدروليكي من خلال العلاقة التالية:

$$R = \frac{\text{المقطع العرضي لمساحة التصرف}}{\text{المحيط المبلل}}$$

أي أن:

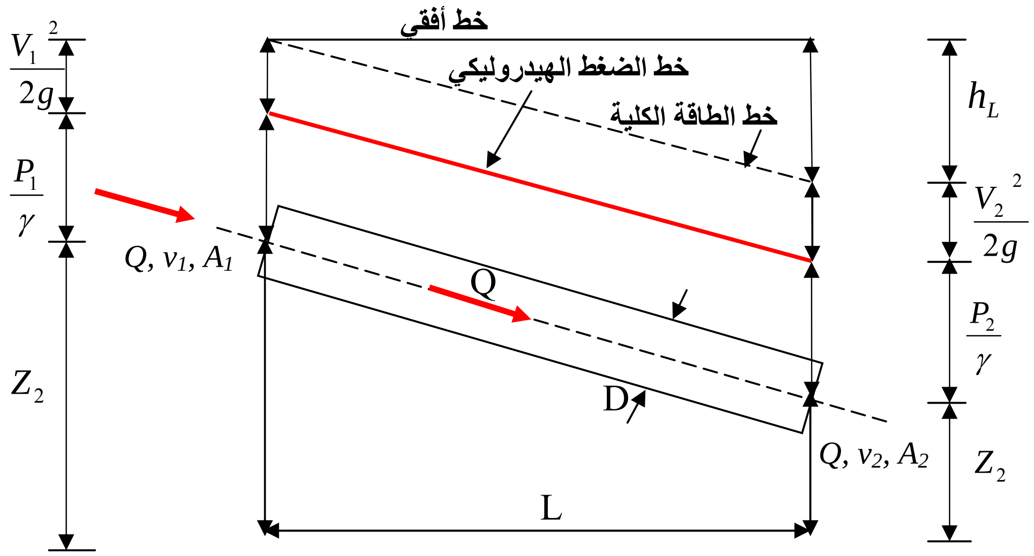
نصف قطر الأنبوب الهيدروليكي R	
أنبوب مملوء: $R = \frac{\pi D^2/4}{\pi D} = \frac{D}{4}$	أنبوب نصف مملوء: $R = \frac{\pi D^2/8}{\pi D/2} = \frac{D}{4}$
	

الجدول (٣- ١): معامل هازن وليامس لعدة أنواع من الأنابيب(Hazen-Williams).

C	مواصفات الأنبوب
140	Extremely smooth and straight
	Cast iron:
130	New
120	5 years old
110	10 years old
90-100	20 years old
75-90	30 years old

120-140 120 110	Concrete or cemented: Welded steel, as for cast-iron pipe, 5 years older Rived steel, as for cast-iron pipe, 10 years older
150	Plastic
120-140	Asbestos

ويمكن استنتاج العلاقة التالية لحساب التدفق في المواسير المملوءة، بحسب الشكل (٣- ٨):



الشكل (٣- ٨): التدفق في المواسير.

$$Q = 0.278\ CD^{2.63}\ S^{0.54} \tag{٣- ٢}$$

وبما أن الميل الهيدروليكي بحسب الشكل (٣- ٨) يأخذ الصيغة: $S = \frac{h_L}{L}$ ، عليه يمكن إعادة استنتاج المعادلة (٣- ٢) بالصيغة:

$$S = \frac{h_L}{L} = \left[\frac{Q}{0.278\ CD^{2.63}}\right]^{1/0.54} \tag{٣- ٣}$$

مثال (٣- ١):

احسب الفاقد في الضغط في أنبوب طوله ١٠٠٠ م، من خلال المعطيات التالية:

$C = 130$ $\quad Q = 0.25\ m^3/s$ $\quad D = 500\ mm$

الحل:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 0.5^2}{4} = 0.2 m^2$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.25}{0.2} = 1.25 m/s$$

$$Q = 0.278\, CD^{2.63} S^{0.54} = 0.278\, CD^{2.63} \left(\frac{h_L}{L} \right)^{0.54}$$

$$\frac{h_L}{L} = \left[\frac{Q}{0.278\, CD^{2.63}} \right]^{1/0.54}$$

$$\therefore\ h_L = \frac{10.7 Q^{1.85} L}{C^{1.85} D^{4.87}}$$

$$h_L = \frac{10.7 \times (0.25)^{1.85} \times 1000}{(130)^{1.85} \times (0.5)^{4.87}} = 2.96\ m$$

٣- ٨ طريقة الرسم التصميمي

يستخدم الرسم التصميمي الموضح في الشكل (٣- ٩) لحل معادلة هازنوليامس في الحصول على العناصر الأساسية الخاصة بالشبكة. فالرسم يعطي العلاقة بين (Q, D, S, v) لقيمة $C = 100$.

فيمكن الحصول مثلاً على السرعة إذا كان حجم الأنبوب ودرجة الميل الهيدروليكية معلومة، وكذلك الحصول على درجة الميل الهيدروليكية بمعرفة السرعة وحجم الأنبوب، أو حساب حجم الأنبوب إذا كان التدفق ودرجة الميل الهيدروليكية معلومة. فيتم رسم خط مستقيم بحيث يقطع المحاور الأربعة مروراً بالنقاط المعلومة، ثم تقرأ القيم المجهولة من التقاطع بين الخط والمحاور المذكورة.

ولتطبيق الرسم التصميمي على أنابيب بقيم C تختلف عن ١٠٠ يتم استخدام العلاقات التالية:

- بمعرفة v وD يمكن حساب S كالتالي:

$$S_c = S_{100}\left(\frac{100}{C}\right)^{1.85} \qquad (٣- ٤)$$

- وبمعرفة Q و S يمكن حساب D من الصيغة:

$$D_c = D_{100}\left(\frac{100}{C}\right)^{0.38} \qquad (٣- ٥)$$

- وبمعرفة D و S يمكن حساب Q من العلاقة:

$$Q_c = Q_{100}\left(\frac{C}{100}\right) \qquad (٣- ٦)$$

مثال (٣- ٢):

احسب الفارق في الضغط لأنبوب مياه طوله ١٥٠٠ م وقطره ٢٠٠ مم وقدرته على التدفق ٢ م٣/دقيقة.

الحل:

القيم المعطاة:

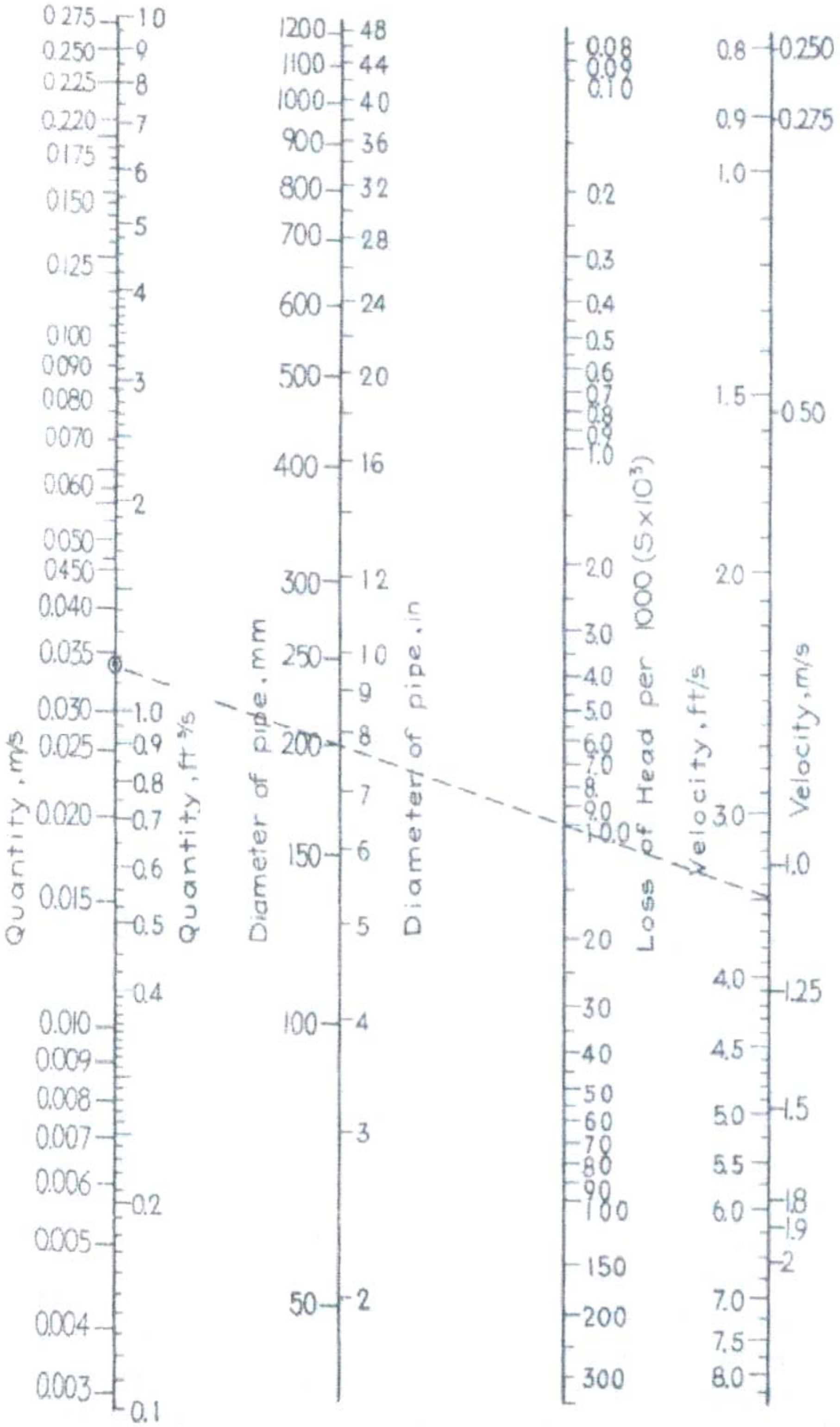
$$L = 1500 \text{ m}$$
$$D = 200 \text{ mm}$$
$$Q = 2 \text{ m}^3/\text{min}$$

يستخدم الرسم الموضح في الشكل (٣- ٩)، يتم رسم خط مستقيم يقطع المحاور الأربعة (Q, D, S, v) ويمر بالنقاط: $D = 200$ mm و $Q = 2$ m^3/min ومنه تقرأ قيمة S لتصبح: $S = 10\times10^{-3}$.

ومن خلال علاقة الميل الهيدروليكي:

$$S = \frac{h_L}{L} = 10.10^{-3}$$

$$\therefore h_L = S \times L = (10.10^{-3})\times(1500) = 15 \ m$$



الشكل (٣- ٩): الرسم التصميمي لحل معادلة هازن وليامس (Hazen-Williams).

٣- ٩ وصلات المواسير

لإيصال المواسير ببعضها تستخدم وصلات كثيرة حسب أنواع المواسير، وغالبًا توجد أكثر من طريقة لتوصيل نفس النوع من المواسير. وتشمل المواصفات الفنية طرق اللحام أو التوصيل لمختلف أحجام وأنواع المواسير، وكذلك طرق تثبيت المواسير الظاهرة وحمايتها وطرق وضع المواسير المدفونة وحمايتها.

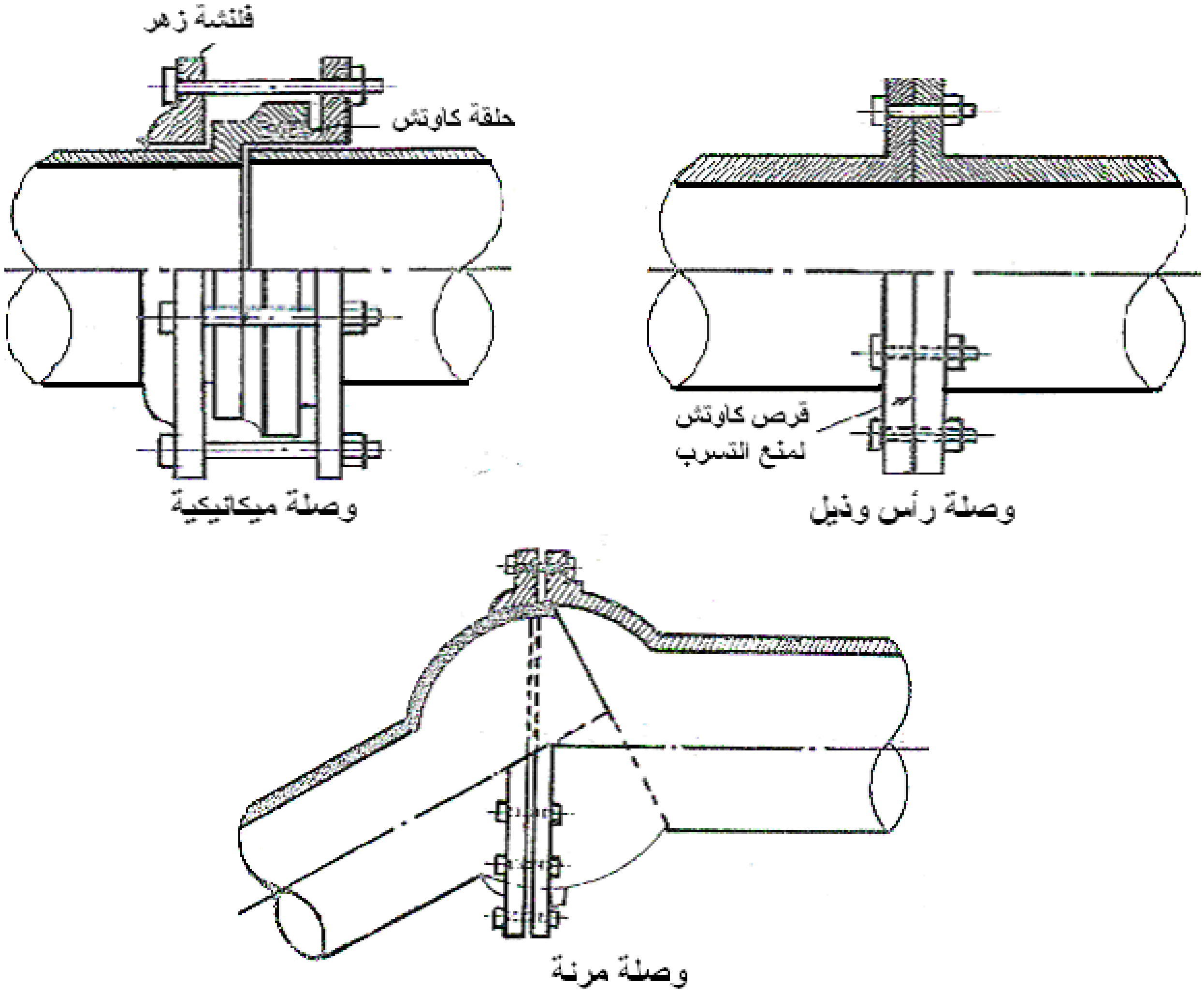
فبالنسبة لمواسير الحديد الزهر تستخدم وصلات الكبس التي تعتمد على حلقات مطاطية مناسبة لمنع التسرب وتستخدم أيضًا وصلات مرنة كما هو مبين في الشكل (٣- ١٠).

ولمواسير البلاستيك تستخدم وصلات مرنة بالكبس للأقطار الكبيرة، وتستخدم وصلات مسننة وكذلك لحام سائل. وبالنسبة لمواسير الفخار تستخدم وصلة مونة الإسمنت والرمل وحبل كتان مقطرن وكذلك تستخدم وصلات مرنة بالضغط.

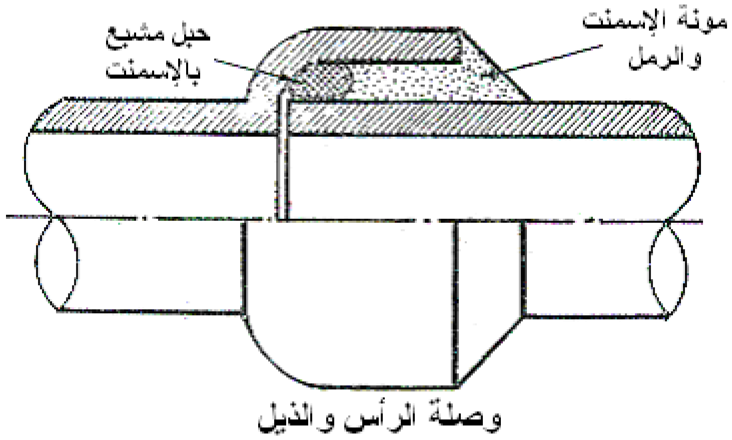
أما لمواسير الإسبستس فتستخدم وصلة مونة الإسمنت والرمل وحبل مشبع بالإسمنت كما هو مبين في الشكل (٣- ١١).

وعمومًا لأنواع كثيرة من المواسير تفضل الوصلات المرنة للأسباب التالية:

- أرخص نسبيًا في التكاليف.
- سهلة وسريعة التركيب.
- مرونتها التي تساعد على مقاومة الإجهادات أو الحركة.



الشكل (٣- ١٠): نماذج من وصلات مواسير الحديد الزهر.



الشكل (٣- ١١): نموذج من وصلات مواسير الإسبستس.

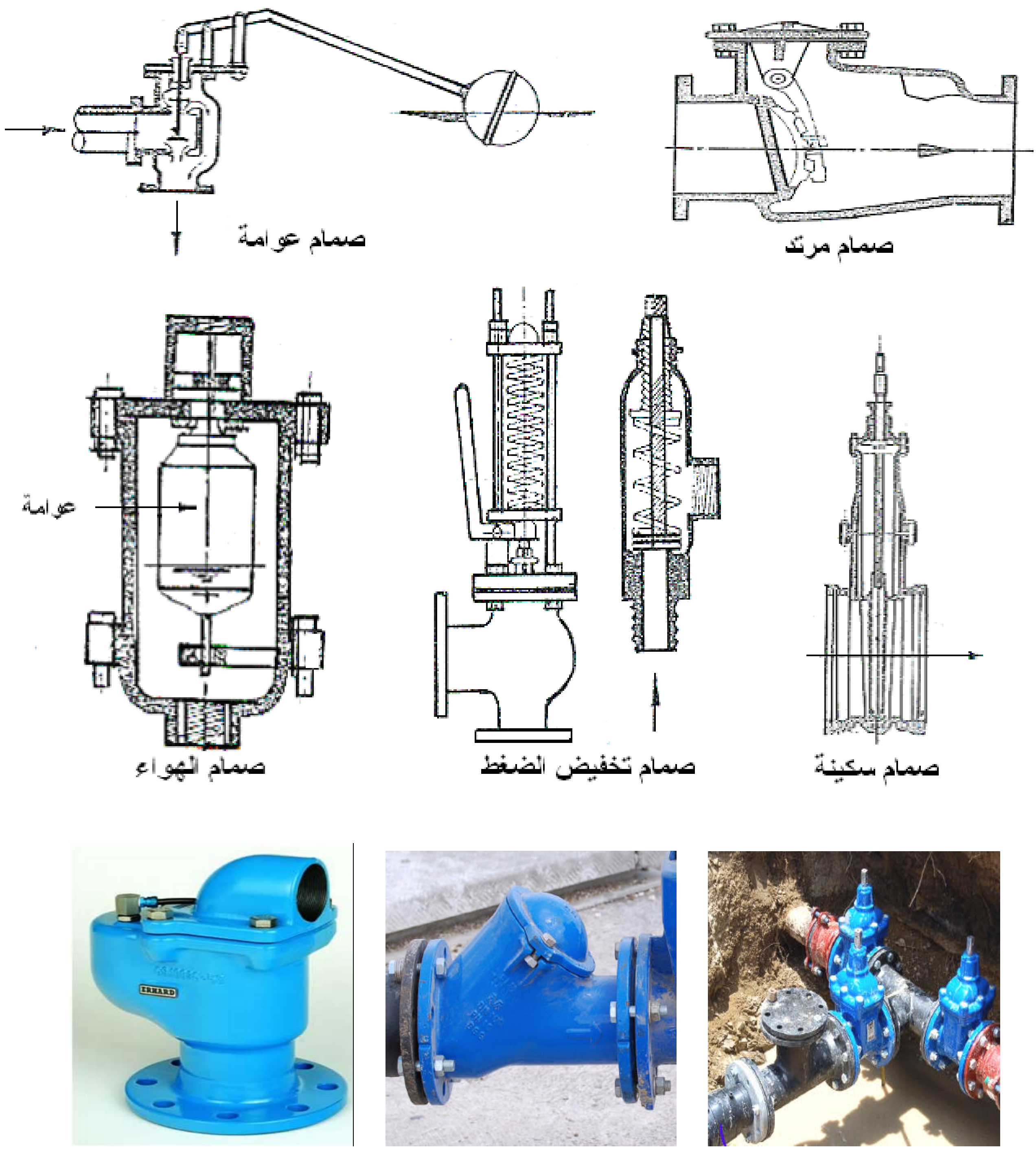
٣- ١٠ الصمامات

تستخدم الصمامات للتحكم بالشكل جيد في عملية تدفق المياه خلال مواسير الشبكة وعند الفتح والغلق لأغراض الصيانة وتصليح الأعطال المفاجئة التي تحدث في الشبكة. وتعمل الصمامات بطريقة آلية بحيث يمكن فتحها وغلقها ذاتياً عند الضرورة. وهناك عدة أنواع من الصمامات كما هو مبين في الشكل (٣- ١٢)، أهمها:

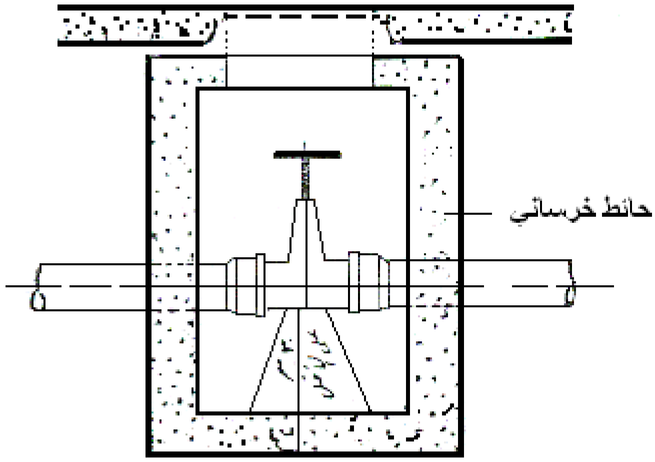
- **صمام مرتد** (Non-return valve): يوضع على وصلات التغذية الرئيسية بعد الشبكة العمومية أوبعد محطات الرفع وفي توصيلات خزانات المياه أو في أي مسار مطلوب سريان المياه فيه في اتجاه واحد حيث يعمل هذا الصمام على تمرير المياه في شبكة المواسير في اتجاه واحد.
- **صمام عوامة** (Plunger valve): يستخدم في خزانات المياه وصناديق الطرد لقفل المياه أوتوماتيكيًا عندما تصل لمنسوب معين، ثم يفتح أوتوماتيكيًا عندما ينخفض المنسوب لحد معين.
- **صمام سكينة** (Sluice valve): يستعمل هذا الصمام للتحكم في سير المياه خلال المواسير الرئيسية والفرعية عند القيام بالاصلاحات اللازمة في الأماكن التي تحدث بها أعطال مفاجئة دون التأثير على عملية الإمداد في باقي الشبكة، ويتم تركيبه عادة عند .
- **صمام تخفيض الضغط** (Pressure reducing valve): ويستخدم لامتصاص أو تفريغ الضغط الذي يزيد عن حد معين في الشبكة وفي خزانات المياه.
- **صمام تصريف الهواء** (Air valve): يركب على خطوط توزيع المياه الرئيسة في النقاط التي يتجمع فيها الهواء الذي يصل للمواسير مع المياه.
- **صمام غسيل** (Wash valve): يركب عادة على نهاية الخطوط بحيث يمكن من خلاله تصريف المياه من المواسير وغسيلها.

توضع الصمامات عادة إما في غرف من الخرسانة أو في صناديق من الزهر. الشكل (٣- ١٣) يبين نموذجاً من الغرف الخاصة بصمامات الخطوط الرئيسية الموجودة تحت الأرض حيث تحتوي على فتحات تستخدم للدخول وتغطى بغطاء من الحديد الزهر. والشكل (٣- ١٤) يوضح نموذجاً من الصمامات الصغرى المركبة على مواسير التوزيع داخل المدينة، فتوضع في صناديق صغيرة من الزهر وهي عبارة عن أسطوانة تزلق داخل أخرى، ترتكز الاسطوانة السفلى على الماسورة المركب عليها الصمام وتمتد

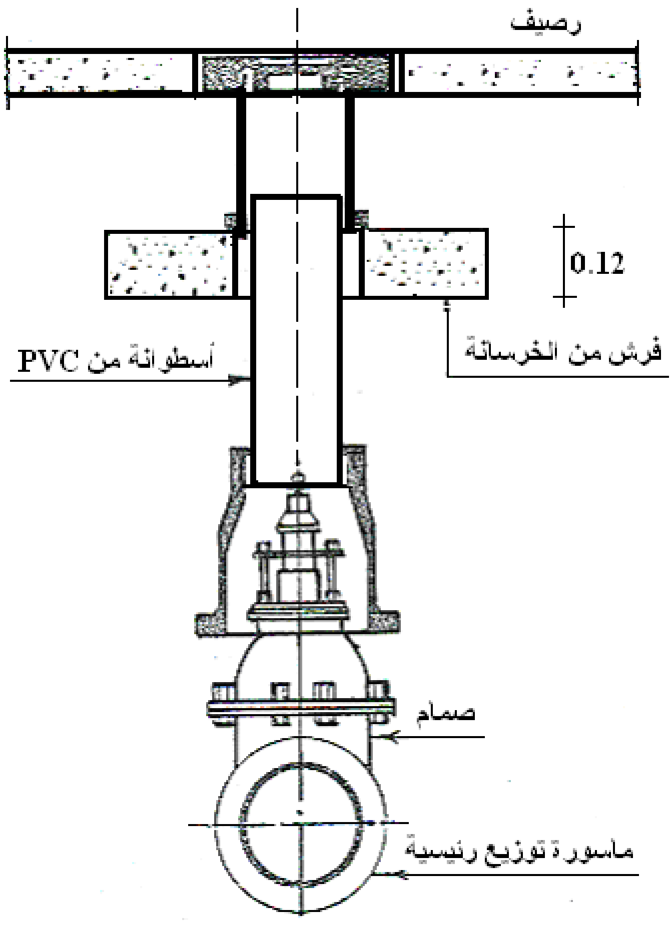
الاسطوانة العليا لتصل إلى سطح الأرض على أن تغطى بغطاء من الحديد، وفي هذه الحالة يتم تشغيل الصمام بواسطة عمود حديدي خاص يمتد داخل الأسطوانة إلى رأس الصمام.



الشكل (٣- ١٢): بعض أنواع صمامات التحكم في شبكات التغذية.



الشكل (٣- ١٣): مقطع لصمام داخل غرفة من الخرسانة.



الشكل (٣- ١٤): مقطع لصمام داخل صندوق من الزهر.

٣- ١١ عدادات المياه

هي أجهزة تستعمل لقياس تصرفات واستهلاك المياه سواء كان ذلك من محطات الطلمبات أو محطات التنقية أو في المواسير الرئيسية أو الفرعية أو على الوصلات المنزلية. وهناك أكثر من نوع من العدادات أهمها:

١. **عداد فنتوري**: ويستعمل على المواسير الرئيسية أو في مخارج الطلمبات وفيه يسجل المنصرف على ورق بياني يلف بواسطة عداد زمني وتحفظ هذه البيانات للرجوع إليها عند الحاجة لأغراض تصميم وحدات مستجدة في محطات المياه.

٢. **عداد ديكون**: ويستعمل هذا العداد على الفروع الرئيسية لبيان المنصرف فيها وهو أيضًا يسجل التصرف على ورق بياني يلف بواسطة عداد زمني.

٣. **عدادات لفافة**: وهي على عدة أنواع منها عداد التربين، وعداد مروحة، وعداد لولبي.

٤. **عداد منزلي**: وهو أصغر العدادات المستعملة، ويوضع على فروع التغذية للمنازل ويتم قراءة المنصرف بواسطة مؤشرات على وجه العداد. الشكل (٣- ١٥) يبين بعض النماذج من عدادات المنازل.



الشكل (٣- ١٥): عدادات مياه منزلية.

٣- ١٢ تنفيذ شبكات التوزيع

إن أغلب مشاريع شبكات توزيع المياه تتطلب دفن أنابيب الشبكة في خنادق تحفر في الأرض من أجل حمايتها من الأضرار والكسر الذي قد تسببه أحمال المرور، وكذلك حمايتها من التجمد الذي ينتج عن الانخفاض في درجات الحرارة. ولتنفيذ ذلك نتبع الخطوات التالية:

١. تحديد الخطوط التي سيتم تنفيذها حسب الرسومات والمخططات.

٢. تحديد مسارات المرافق الأخرى مثل أنابيب الغاز وكابلات الكهرباء والتليفون وغيرها على رسومات مناسبة لحمايتها أثناء الحفر.

٣. حفر الخندق ويراعى أن يكون واسعاً لإيواء الأنبوب وللقيام بأعمال التركيب اللازمة. وقد يتراوح عرض الخندق من ٤٦ سم إلى ١٧٦ سم للأنابيب بقطر من ٥٠ إلى ١٢٢٠ مم. ويتراوح عمق الخندق من ١,٢٥ إلى ٢ متر في المناطق الحارة ومن ٢ إلى ٣ متر في المناطق الباردة.

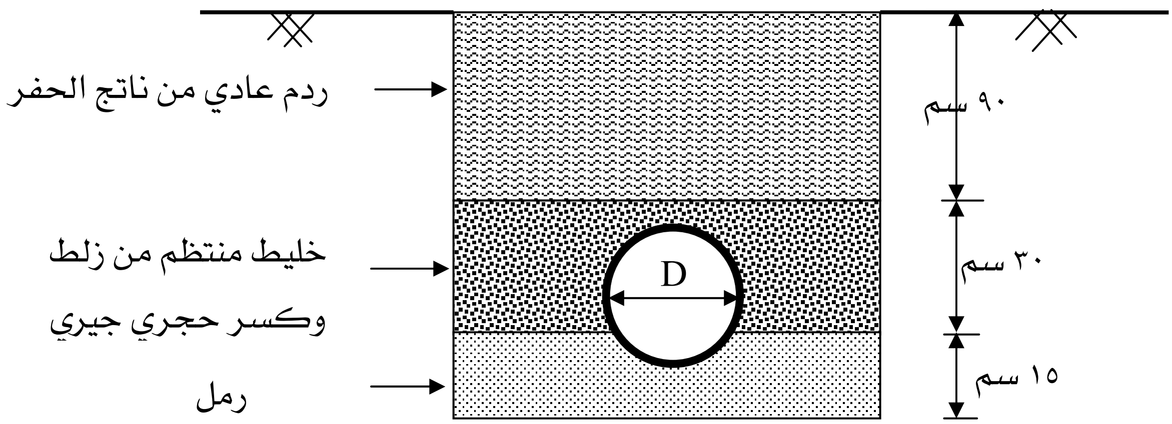
٤. عند الحفر في تربة ضعيفة يجب عمل سندات تناسب عمق الخندق ونوعية التربة.

٥. فرش طبقة من الرمل في أسفل الخندق تكون بسمك حوالي ١٥ سم لوضع الأنبوب عليها.

٦. وضع الأنبوب بعناية في الخندق بطريقة تناسب نوعيتها وطولها ووزنها، وعمل وصلاتها حسب المواصفات الخاصة بصناعتها.

٧. التأكد من سلامة المواسير من الشروخ وكل العيوب الفنية وكذا ضمان الوصلات.

٨. ردم الخندق على طبقات صغيرة تدك بطريقة مناسبة لمواد الردم التي يجب أن لا تحتوي على مواد صلبة كبيرة الحجم، ويتم الردم حتى سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (٣- ١٦).



الشكل (٣- ١٦): مقطع لأنبوب ماء مدفون في الأرض.

٣- ١٣ صيانة شبكات التوزيع

تنقسم أعمال الصيانة لشبكات التوزيع إلى قسمين هما:

١. **الصيانة الدورية**: وهي التي تجرى على شبكات التوزيع بصفة دورية والغرض منها هو منع الضرر قبل وقوعه، فيتم تنظيف خطوط الشبكة والخزانات، واستبدال المضخات التي قل عطاؤها والتأكد من المحابس وغير ذلك من الأعمال اللازمة للشبكة لإطالة عمرها ورفع كفاءتها.

٢. **الصيانة الطارئة**: وهي الصيانة التي تجرى على المناطق التي يحدث بها مشاكل، مثل وجود تسريب من المحابس أو المواسير، أو حدوث كسر في أحد المواسير نتيجة أعمال حفر خاطئة، أو حدوث انسداد في الفلاتر، أو عطل في المضخات.

٣- ١٤ قياس التسربات من الشبكة

تحدث التسربات من الشبكة بسبب التشققات والكسور التي تحدث في الأنابيب وفي الوصلات بسبب قدم الشبكة، وسوء تنفيذها، وسوء صيانتها وتشغيلها. ويمكن قياس كمية المياه المفقودة على أساس كمية المياه المنتجة والمستهلكة، لذلك تعتمد دقة حساب التسرب على تقدير كمية المياه المنتجة بالشكل صحيح. من أجل هذا يجب أن تكون العدادات المركبة في محطات الضخ ومراكز الإنتاج ذات أداء جيد، وأن تركب بالشكل صحيح بعيدة عن الأكواع ونقاط التفرعات. كما يجب معايرتها كل سنة مرة واحدة على الأقل لضمان وثوقية النتائج.

أسئلة وتمارين:

١. اذكر الأجزاء الرئيسية التي تتكون منها شبكات توزيع المياه

٢. ما هي الأساسيات التي يجب أخذها في الاعتبار عند تصميم شبكات التوزيع؟

٣. عدد أهم الأنظمة التي تستخدم لتخطيط شبكات توزيع المياه

٤. تختلف الضغوط داخل شبكات التوزيع من مدينة لأخرى ومن مكان لآخر حسب معدلات الاستهلاك والضغوط المطلوبة. اذكر نبذة مختصرة لهذه القيم وما الملاحظات المطلوب مراعاتها؟

٥. اشرح العوامل التي تسبب في اختلاف الضغط من نقطة لأخرى

٦. اشرح باختصار أنواع السريان داخل المواسير

٧. لحساب التدفق في المواسير تستخدم طريقتي معادلة هازن وليامس وطريقة الرسم التصميمي. اشرح كيفية استخدام الطريقتين لحساب التدفق في المواسير

٨. عدد أهم أنواع المواسير التي تستخدم في شبكات مياه التغذية وما الشروط التي يجب توفرها في المواد التي تصنع منها

٩. احسب الفاقد في الضغط في أنبوب طوله ٣٠٠٠ م، إذا علمت أن قطر الأنبوب $D = 200\ mm$ والتدفق $Q = 0.45\ m^3/s$ ومعامل هازن وليامس $C = 130$.

١٠. وضح مع الاستعانة بالرسم خطوات تنفيذ شبكات المياه مع توضيح الاحتياطات التي يجب مراعاتها عند وضع المواسير في الخندق؟

شبكات المياه والصرف الصحي

شبكات تصريف السيول

الوحدة الرابعة : شبكات تصريف السيول

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذا الفصل على الأساسيات الرئيسة اللازمة لمشاريع تصريف مياه السيول.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون المتدرب بإذن الله قادراً على:

١. حساب كميات مياه السيول لمنطقة معينة.
٢. تحديد الوقت الذي تحتاجه مياه السيول للتدفق على سطح الأرض حتى تصل إلى أنظمة الصرف المتوفرة بالمنطقة.
٣. حساب شدة أو غزارة المطر وتأثير ذلك على شبكات تصريف السيول.
٤. معرفة الملاحق اللازمة لأنظمة تصريف مياه السيول.
٥. تصميم شبكات تصريف مياه السيول.
٦. قراءة الرسومات لمشاريع شبكات مياه السيول.
٧. الاشراف على تنفيذ مشاريع شبكات مياه السيول.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل: ٨ ساعات.

شبكات تصريف السيول

٤- ١ مقدمة

يقدم هذا الفصل أهم الأساسيات اللازمة لعملية تصريف مياه السيول والتي تعد من الخدمات الرئيسة التي تحتاجها أي منطقة سواءً كانت سكنية أو تجارية أو صناعية، وتزيد أهميتها مع التوسع العمراني للمنطقة. وتعمل شبكات تصريف السيول على تصريف المياه من المناطق الحضرية مثل المدن إلى أماكن خارج تلك المناطق. وترتكز أنظمة تصريف مياه السيول على الطبيعة الجغرافية والأحوال المناخية للمنطقة وترتبط بكمية مياه الأمطار وما تولده من مياه تنساب على سطح الأرض.

٤- ٢ الدراسات الأولية اللازمة

قبل الشروع في أعمال تصميم شبكات تصريف مياه السيول، لا بد من عمل الدراسات الأولية المتمثلة في جمع المعلومات التالية:

- خرائط لمنطقة المشروع والمتوفرة لدى البلدية بحيث توضح المباني والشوارع والأرض الفضاء والخطوط الكنتورية وعلامة منسوب المنطقة، ويفضل أن تكون تلك الخرائط بمقياس رسم من ١:١٠٠٠ إلى ١:٣٠٠٠.
- حالة تربة المنطقة من حيث قدرة تحملها ومنسوب المياه الجوفية بها وعمق الطبقة الصخرية، ومدى الحاجة إلى الحوائط الساندة أثناء عمليات الحفر، وقد يكون من المناسب عمل جسات محدودة لتحريات التربة.
- نوع الخدمات المتوفرة بالمنطقة مثل خطوط شبكات تغذية المياه والكهرباء والهاتف وغيرها، وبعض المنشآت القائمة مثل الأنفاق والجسور ومدى إعاقتها لمشروع شبكات السيول، واقتراح الحلول البديلة في حالة وجود هذه العوائق.

٤- ٣ أنواع شبكات تصريف السيول

هناك نوعان من الشبكات يمكن استخدامهما في تصريف مياه السيول وهما :

١. شبكة الأنابيب المغلقة : والتي يحفر لها وتوضع تحت سطح الأرض على امتداد طرقات وشوارع الحي أو المنطقة.

٢. شبكة القنوات المفتوحة : وهي قلما تستخدم في المملكة العربية السعودية لأنها تشغل مساحة من أرضية الطريق وتحتاج إلى صيانة دورية حسب بيئة وطبيعة كل منطقة.

٤- ٤ مبادئ تصميم شبكات السيول

يمكن تصميم شبكات تصريف السيول باتباع الخطوات التالية :

١. تقسيم منطقة المشروع إلى مناطق جزئية بخطوط حسب التقسيم المائي المناسب (A).
٢. إيجاد معامل مياه السيول الجارية حسب طبيعة كل منطقة (C).
٣. إيجاد الوقت اللازم لدخول مياه الأمطار الجارية إلى البالوعات (t).
٤. حساب شدة أو غزارة المطر بحسب المعلومات المتوفرة عن كل منطقة (i).
٥. حساب كمية مياه السيول المتدفقة لكل مقطع من المنطقة (Q).
٦. حساب قطر أنبوب التصريف لكل مقطع (D).

ويجب أخذ العناصر التالية عند تصميم شبكات مياه السيول:

- التدفق لحظي حسب شدة المطر.
- سرعة التدفق في الأنابيب لا تقل عن ١ متر / ثانية.
- أقطار أنابيب شبكة التصريف لا تقل عن ٣٠٠ مم.
- ليس شرطاً أن تمر الشبكة في كل شارع ولكن تحتاج إلى المرور من أماكن تجمع المياه.

٤- ٤- ١كميات مياه السيول

عند دراسة وتصميم مشاريع تصريف مياه السيول فمن الضروري معرفة كميات مياه السيول الجارية على سطح الأرض والتي يمكن تحديدها بأكثر من طريقة حسب الظروف المناخية والجغرافية للمنطقة والمعلومات المتوفرة عن كميات الأمطار والمياه الجارية خلال الفترات الماضية. ومن أهم هذه الطرق:

- الطريقة المنطقية
- طريقة الصيغة التجريبية
- طريقة الحاسب الرقمية
- طريقة الرسم المائي

وسوف يتم التطرق في هذا المقرر إلى الطريقة المنطقية فقط لكونها الأكثر شيوعاً واستخداماً. وهذه الطريقة تربط كمية المياه المتدفقة نتيجة الأمطار على مساحة معينة من الأرض وخلال فترة من الزمن وبغزارة أو شدة مطر محددة، أي أن:

$$Q = iA \qquad (٤- ١)$$

حيث:

Q: حجم مياه الأمطار الساقطة (m^3/hr)

i: شدة أو غزارة المطر (m/hr)

A: مساحة المنطقة المحتاجة للتصريف (m^2)

إن كمية مياه الأمطار التي تسقط على الأرض لا تتحول في مجملها إلى مياه جارية، بل هناك كمية منها تفقد بسبب عملية التبخر، وكمية تتخلخل وتتسرب إلى باطن الأرض، وكمية أخرى تبقى على سطح الأرض لالشكل البرك والمستنقعات. وتعتمد كمية المياه المفقودة على عدة عوامل أهمها درجة حرارة الجو ونوع التربة وما تحتويه من مياه وكذلك مدة استمرارية المطر. وبسبب ما يفقد من مياه الأمطار، فإن الحجم الفعلي للمياه الجارية نتيجة الأمطار يمكن استنتاجها من العلاقة:

$$Q = CiA \qquad (٤- ٢)$$

حيث C يمثل معامل مياه الأمطار الجارية على سطح الأرض والذي يختلف بحسب نوع السطح كما يوضحه الجدول (٤- ١).

وعندما تحتوي المنطقة المصرفة على أسطح مختلفة بمعاملات متباينة ، فإن المعامل المناسب لكل سطح يضرب في جزئية مساحته ومن ثم تجمع المعاملات كما في العلاقة:

$$C_{avg} = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{\sum A_i} \qquad (٤- ٣)$$

الجدول (٤- ١): معامل مياه الأمطار الجارية لعدة أسطح مختلفة.

نوع السطح	C
	٠,٧٠ — ٠,٩٥
	٠,٨٠ — ٠,٩٠
حدائق وملاعب رياضية	٠,١٠ — ٠,٢٥
ممرات وأرصفة مسفلتة	٠,٧٥ — ٠,٨٥
ممرات وأرصفة بالركام	٠,١٥ — ٠,٣٠
أرض عشبية على تربة رملية وتميل ٢٪	٠,٠٥ — ٠,١٠
أرض عشبية على تربة رملية وتميل ما بين ٢ و٧٪	٠,١٠ — ٠,١٥
أرض عشبية على تربة رملية وتميل بنسبة أعلى من ٧٪	٠,١٥ — ٠,٢٠
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل ٢٪	٠,١٣ — ٠,١٧
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل بين ٢ و٧٪	٠,١٨ — ٠,٢٢
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل بنسبة أعلى من ٧٪	٠,٢٥ — ٠,٣٥

مثال (٤- ١):

احسب معامل مياه الأمطار الجارية لمنطقة سكنية مساحتها الإجمالية km^2 ٠,٥ ، حيث تغطي المباني السكنية ٣٥٪ من هذه المساحة وتغطي الممرات والأرصفة مسفلتة ٤٠٪، بينما تمثل النسبة المتبقية أرض مستوية بتربة رملية ومغطاة بعشب. ثم احسب كمية المياه المصرفة من هذه المنطقة عندما تكون شدة المطر $64\ mm/hr$؟

الحل:

الجدول التالي يبين حساب معامل مياه الأمطار الجارية بحسب المساحات الموضحة في المثال:

نوع المساحة	نسبة المساحة (٪)	المساحة الجزئية A_i (m^2)	المعامل C_i من الجدول (١- ٣)	$C = \frac{\sum C_i \cdot A_i}{\sum A_i}$
مباني	٣٥	175000	٠,٩٥ - ٠,٧٠	٠,٣٣٢٥ - ٠,٢٤٥
ممرات وأرصفة مسفلتة	٤٠	200000	٠,٨٥ - ٠,٧٥	٠,٣٤٠ - ٠,٣٠٠
أرض عشبية مستوية على تربة رملية	٢٥	١٢٥٠٠٠	٠,١٠ - ٠,٠٥	٠,٠٢٥ - ٠,٠١٢٥
المجموع				٠,٦٩٧٥ - ٠,٥٥٧٥

من الجدول أعلاه يتبين أن معامل مياه الأمطار الجارية للمنطقة يتراوح من ٠,٥٥٧٥ كحد أدنى إلى ٠,٦٩٧٥ كحد أعلى. وعند تصميم نظام تصريف السيول لهذه المنطقة فمن المناسب أخذ القيمة الأعلى من المعامل احتياطًا لكميات كبيرة من مياه السيول المتدفقة.

وبالتالي فإن كمية مياه السيول المصرفة للمنطقة هي:

$$Q = CiA = 0.6975 \times \left(\frac{64}{1000}\right) \times 0.5 \times 10^6 = 22320 \quad m^3/hr$$

٤- ٤- ٢ وقت التجميع

عند سقوط الأمطار على منطقة مخدومة بنظام تصريف السيول، فإن المياه الجارية تحتاج إلى وقت لتتدفق من مساحات المنطقة المختلفة إلى فتحات أو مداخل التصريف. وهذا الوقت يشتمل على وقت التدفق (Time of Flow) ووقت الدخول (Inlet Time).

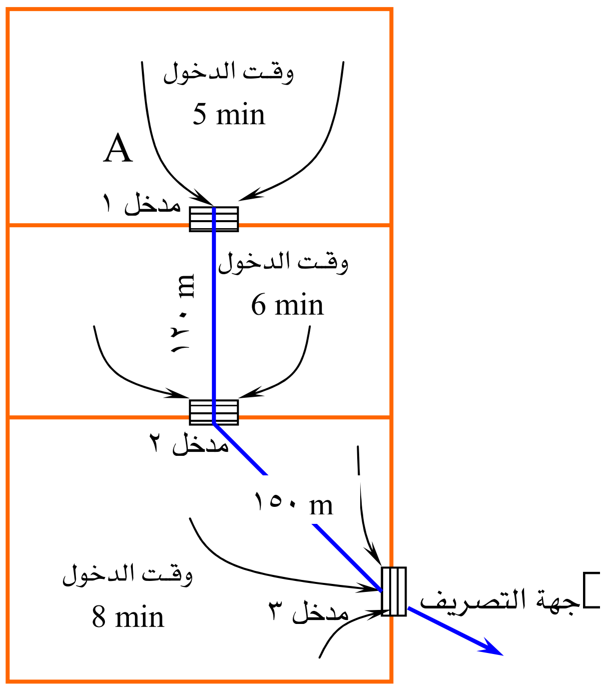
إن القصد من وقت التدفق هو الوقت الذي تحتاجه مياه السيول للتدفق من نقطة إلى أخرى. أما وقت الدخول فيقصد به الوقت من بدء سقوط المطر إلى اللحظة التي يبدأ عندها الماء بالتدفق في أنابيب تصريف السيول، وتتراوح قيمته في الغالب من 5 إلى 20 دقيقة. ويتأثر وقت التجميع بعدة عوامل أهمها:

- ميول الأرض
- نوع الأسطح المصرفة
- المسافة بين فتحات تصريف السيول
- الأحوال الجوية

فعلى سبيل المثال يكون وقت الدخول ٥ دقائق للطرق التي عرضها أكبر أو يساوي ١٢٫٥ م والمسافة بين فتحات التصريف أقل أو تساوي ٢٠ مترًا. أي أن وقت التجميع هو الوقت اللازم لتدفق مياه السيول الجارية بأعلى كمية عند شدة مطر كافية لوصول تدفق أبعد نقطة إلى فتحات التصريف.

مثال (٤- ٢):

منطقة سكنية يوجد بها نظام تصريف السيول وتحتوي على ثلاثة أجزاء حسب التقسيم المائي لها والموضح في الشكل (٤- ١). احسب وقت التجميع إذا علمت أن سرعة التدفق في الأنابيب 0.75 m/s.



الشكل (٤- ١): رسم توضيحي للمثال (٤- ٢).

الحل:

من خلال العلاقة بين كلٍ من المسافة والسرعة والزمن يتم حساب وقت التدفق في أنابيب الصرف كما يلي:

- وقت التدفق خلال الأنبوب من المدخل (١) إلى المدخل (٢):

$$t_{1-2} = \frac{120 \ m}{0.75 \ \frac{m}{s} \times 60 \ \frac{\text{sec}}{\text{min}}} = 2.67 \ \text{min}$$

- وقت التدفق خلال الأنبوب من المدخل (٢) إلى المدخل (٣):

$$t_{2-3} = \frac{150 \ m}{0.75 \ \frac{m}{s} \times 60 \ \frac{\text{sec}}{\text{min}}} = 3.33 \ \text{min}$$

- وقت التجميع من أبعد نقطة في كل تقسيم مائي إلى المدخل الأخير (مدخل ٣):

للمساحة A : $t_A = 5 + 2.67 + 3.33 = 11 \text{ min}$

للمساحة B : $t_B = 6 + 3.33 = 9.33 \text{ min}$

للمساحة C : $t_C = 8 \text{ min}$

وبالتالي فإن أعلى وقت تجميع للمنطقة هو ١١ دقيقة وهو الوقت الذي يمثل فترة تساقط المطر.

٤- ٤- ٣ شدة أو غزارة المطر

يمكن القول أن تحديد شدة سقوط المطر من أكثر العوامل تعقيداً. فهي تعتمد على مدة استمرار السقوط، لذا من المتوقع أن تكون غزارة المطر عالية عندما تكون الفترة قصيرة. ومن المناسب تمثيل معلومات سقوط الأمطار على الشكل منحنيات مثل تلك الموضحة في الشكل (٤- ٢) والتي تربط مدة سقوط الأمطار مع غزارتها لفترات دورية عند ٥، ١٠، و ٢٥ سنة.

وعند التصميم فإن منحنى ٥ سنوات يستخدم للمناطق السكنية، ومنحنى ١٠ سنوات للمناطق التجارية، أما منحنى ٢٥ سنة فيمكن استخدامه للمناطق المعرضة إلى فيضانات قد ينتج عنها أضرار في الممتلكات.

وهناك عدد من الصيغ التجريبية التي يمكن الاستعانة بها في حساب شدة سقوط المطر. وأكثر تلك الصيغ تطبيقاً العلاقة التالية:

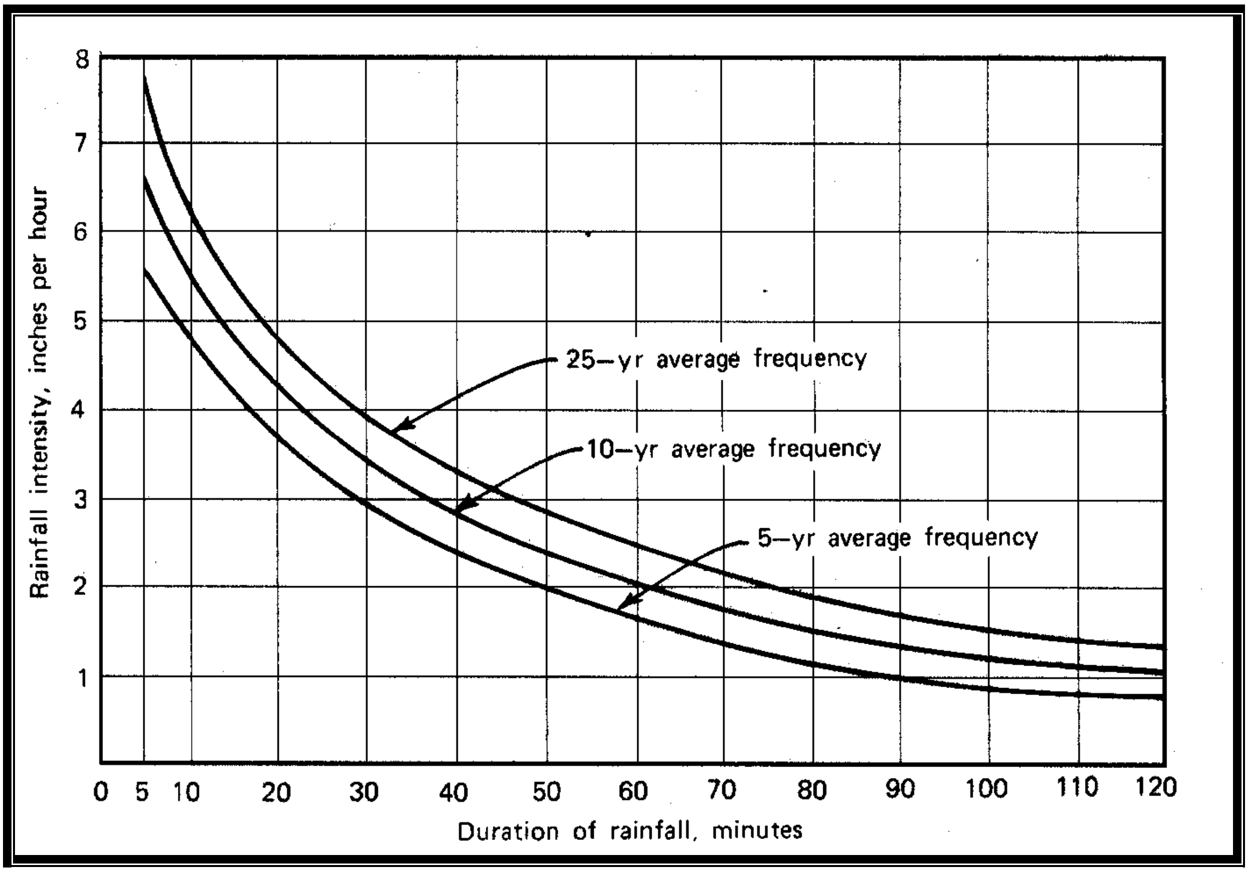
$$i = \frac{a}{t + b} \qquad (٤- ٤)$$

حيث:

i: شدة أو غزارة المطر (mm/hr).

t: فترة سقوط المطر – وقت التجميع (min).

$a \& b$: ثوابت تعتمد على المنطقة.



الشكل (٤- ٢): منحنيات شدة – فترة المطر.

مثال (٤- ٣):

احسب كمية مياه السيول المصرفة لمنطقة مساحتها الإجمالية km^2 ٠,٢٥ ومعامل مياه السيول الجارية $C = 0.30$ ، وشدة سقوط المطر عليها تمثلها الصيغة $i = \frac{4830}{t + 25}$ ، وزمن سقوط المطر ١٢ دقيقة.

الحل:

شدة سقوط المطر:

$$i = \frac{4830}{t + 25} = \frac{4830}{12 + 25} = 130.5\ mm / hr$$

كمية المياه المصرفة:

$$Q = CiA = 0.30 \times \left(\frac{130.5}{1000}\right) \times 0.25 \times 10^6 \cong 9800\ \frac{m^3}{hr}$$

٤- ٤- ٤ تدفق المياه في مجاري السيول

عندما تصل مياه السيول إلى أنابيب الصرف تبدأ في التدفق بالشكل منتظم تحت تأثير الجاذبية الأرضية. إلا أن ذلك التدفق يعتمد على عدة عوامل منها:

- وجود عوائق بأنظمة الصرف
- مساحة مقاطع الأنابيب
- حالة التدفق
- درجة ميول أنابيب الصرف
- خشونة الأنابيب

إن تدفق المياه في الأنابيب بالشكل جزئي (غير ممتلئة) تكون أشبه بالقنوات المائية المفتوحة بحيث تطبق عليها معادلة مانتج (Manning Equation) والتي تأخذ الصيغة:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \qquad (٤- ٥)$$

حيث:

V: سرعة تدفق الماء في الأنبوب (m/s)

n : معامل خشونة أو احتكاك الأنبوب (معامل مانتج)

R: نصف قطر الأنبوب الهيدروليكي ($R = \frac{D}{4}$)، (m)

S: درجة ميل الأنبوب

وبمعرفة سرعة التدفق في أنبوب الصرف ومساحة مقطع الأنبوب يمكن حساب كمية المياه المتدفقة من المعادلة:

$$Q = A \frac{R^{2/3} S^{1/2}}{n} \qquad (٤- ٦)$$

أما إذا كان أنبوب التصريف مملوء بالكامل فإن سرعة تدفق المياه خلاله وكميتها يتم حسابهما من المعادلتين التاليتين وذلك بعد التعويض في المعادلتين (٤- ٥) و(٤- ٦) عن $R = \frac{D}{4}$ و $A = \frac{\pi D^2}{4}$:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \qquad (٤- ٧)$$

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$ (٤- ٨)

حيث (D) يمثل قطر الأنبوب، ووحدتي السرعة وكمية التدفق هما: m/s و m^3/s على التوالي. ويختلف معامل الاحتكاك بحسب طبيعة المادة المصنوعة منها الأنبوبة، وتتغير مع عمر استخدام الأنبوب، والجدول (٤- ٢) يبين قيم معامل الاحتكاك لمواسير مصنوعة من مواد مختلفة.

الجدول (٤- ٢): معامل الاحتكاك (n) لأنابيب مختلفة المواد.

	n

مثال (٤- ٤):

أنبوب دائري يميل بمقدار ٠,٠٠٢٥ ويحمل كمية مياه مقدارها $0.048\ m^3/s$ وهو مملوء بالكامل. فإذا كان معامل احتكاكه $n = 0.013$، فكم يكون قطره؟ وما سرعة تدفق المياه خلاله؟

الحل:

- يتم حساب قطر الأنبوب من المعادلة (٤- ٨):

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.048 = \frac{0.312}{0.013} \times D^{\frac{8}{3}} \times (0.0025)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore D = (0.04)^{3/8} = 0.30\ m = 300\ mm$$

- بعد حساب قطر الأنبوب، نستخدم المعادلة (٤- ٧) لتحديد سرعة التدفق:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$
$$= \frac{0.397}{0.013} \times (0.30)^{\frac{2}{3}} \times (0.0025)^{\frac{1}{2}} = 0.68\ m/s$$

يلاحظ أن السرعة أقل من 1.0 m/s وهذا سوف يزيد من مالشكلة الترسبات في الأنابيب.

٤- ٥ أنواع المواسير المستخدمة

تستخدم في الغالب الأنابيب الخرسانية الدائرية لتصريف مياه السيول، لتوفر في الأسواق بأقطار مختلفة وقد يلزم تصنيعها بأقطار محددة حسب حاجة المشروع. وتستخدم كذلك مواسير مصنوعة من مواد أخرى مثل الفخار والزهر والبلاستيك وغيرها، ويتم اختيار نوع المواسير بناء على عدة عوامل أهمها:

- توفر المواسير بالاقطار والكميات المطلوبة وبأسعار مناسبة
- مقاومة المواسير للضغوط الداخلية والخارجية
- طبيعة التربة ومدى تحملها
- مناسيب المياه الجوفية
- نوعية لحام المواسير وسهولة تنفيذها.

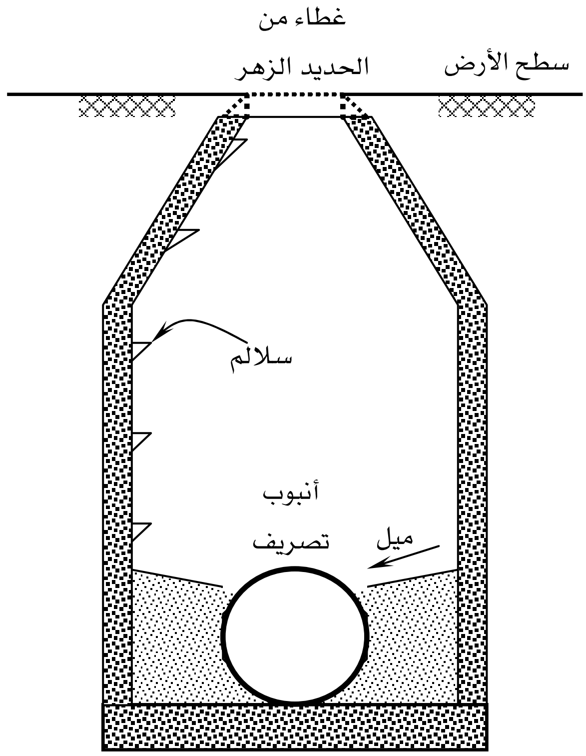
٤- ٦ غرف المراقبة والتفتيش (المطابق)

تعد المطابق من أهم ملحقات شبكات تصريف مياه السيول، ويتم إنشاؤها حسب مواصفات محددة تسمح بأعمال النظافة والصيانة. وتصنع من الخرسانة المسلحة أو الخرسانة العادية أو الطوب، والشكل (٤- ٣) يبين أحد المطابق. وتأخذ المطابق الشكل الدائري أو المربع ويكون غطاؤها على مستوى منسوب الشارع ويغطى بحديد زهر يكون ثقيلاً حتى يتحمل حركة المرور عليه.

أما قاع المطبق فيأخذ الشكل القناة المبطنة عمقها يتناسب مع قطر الأنبوب ومنسوبها يتناسب مع منسوب قاع الأنبوب. وتوضع المطابق على امتداد أنابيب الشبكة في الحالات التالية:

- تغير اتجاه الأنبوب
- تغير قطر الأنبوب

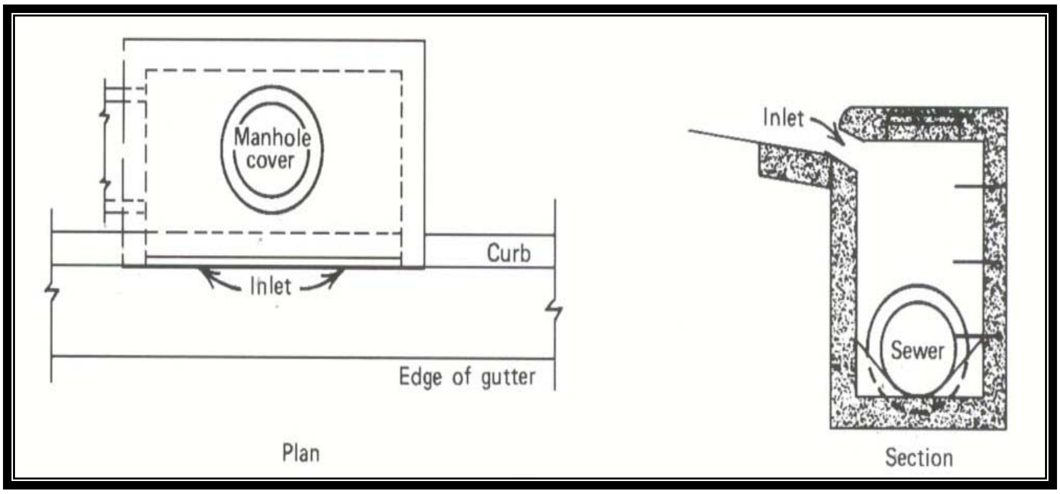
- وجود المسافات المستقيمة الطويلة
- تغير ميل الأنبوب
- مكان تقاطع الأنابيب
- تغير مفاجئ في المنسوب



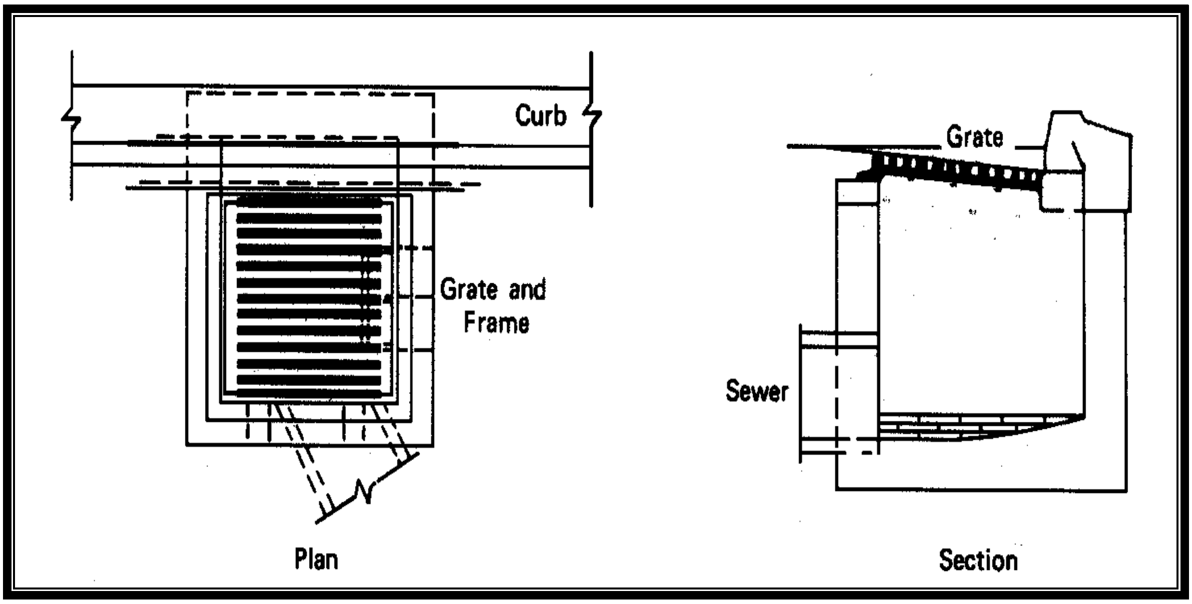
الشكل (٤- ٣): مقطع لمطبق نموذجي.

٤- ٧ المداخل (البالوعات)

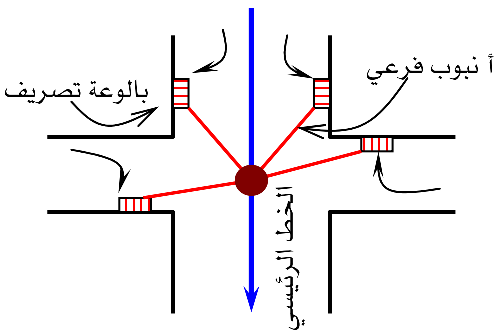
المدخل هو الفتحة التي على سطح الأرض وتستقبل المياه السطحية الجارية وتحولها إلى شبكة تصريف السيول. وتصنف البالوعات بحسب طريقة دخول الماء إليها، فهي إما بالوعات ذات مدخل رأسي لتصريف مياه الأمطار كما يبينها الشكل (٤- ٤)، وإما بالوعات ذات مدخل أفقي كما يوضحها الشكل (٤- ٥). وتوضع البالوعات في الأماكن ذات المناسيب المنخفضة من الطريق والتي تكون تجمع للمياه السطحية. .وتتصل كل بالوعة مع خطوط شبكة التصريف عن طريق أقرب مطبق كما يوضح ذلك الشكل (٤- ٦).



الشكل (٤- ٤): بالوعة تصريف الأمطار ذات مدخل رأسي.



الشكل (٤- ٥): بالوعة تصريف الأمطار ذات مدخل أفقي.

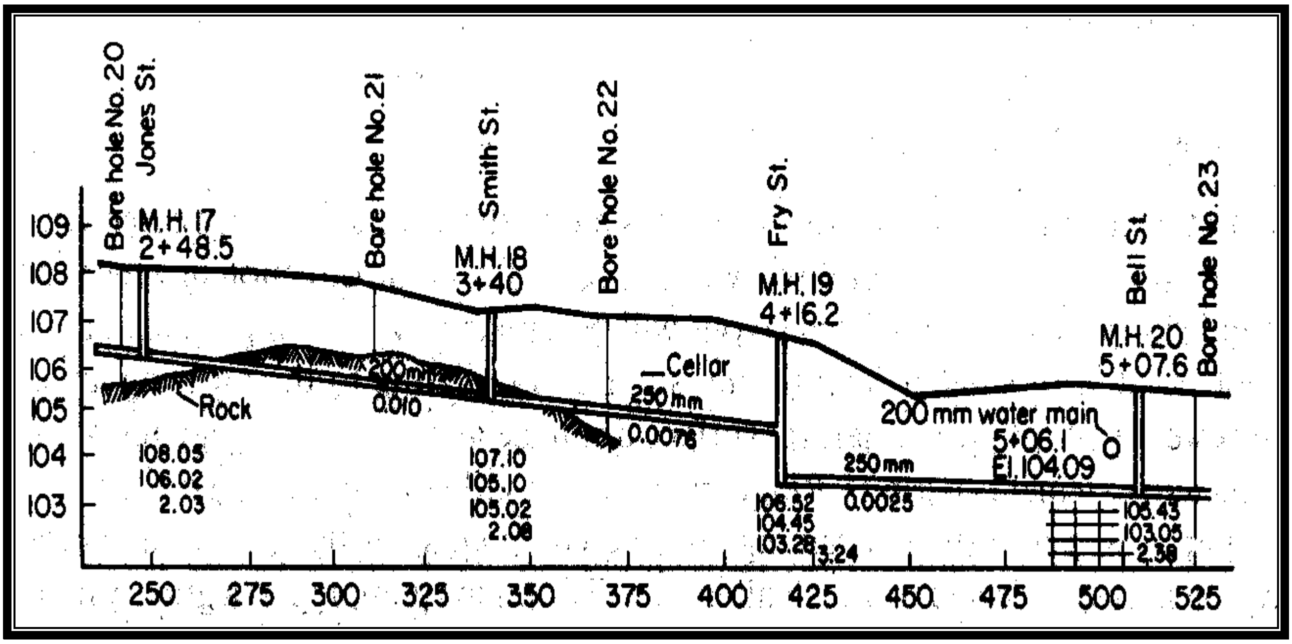


الشكل (٤- ٦): تصريف مياه الأمطار في تقاطع طريق.

٤- ٨ قراءة الرسومات لمشاريع شبكات تصريف مياه السيول

يوضح الشكل (٤- ٧) مخطط لمشروع شبكة تصريف مياه السيول وهو مقطع جانبي يبين معالم الحفر لكل خط تصريف. ويرسم بمقياس رسم أفقي يتراوح من ١:٥٠٠ إلى ١:١٠٠٠ ومقياس رسم رأسي يكون عادةً عشرة أضعاف مقياس الرسم الأفقي، ويحتوي على المعلومات:

- منسوب سطح الأرض وموقع الطبقة الصخرية ونوع فرشة الأنابيب المستخدمة.
- أقطار وأطوال وميول الأنابيب ومستوى قعر كل منها.
- مواقع المطابق وأعماقها وأرقامها، وكذلك الجسات الأرضية إن وجدت.



الشكل (٤- ٧): قطاع جانبي لتمديدات شبكة التصريف

٤- ٩ تنفيذ شبكات تصريف مياه السيول

يتم إنشاء مواسير تصريف مياه السيول كالتالي:

١. يتم تخطيط مسار خطوط التصريف بحيث لا تتعارض مع خطوط المياه والكهرباء والهاتف والغاز والمنشآت الأخرى.

٢. تحديد الخطوط التي يبدأ تنفيذها ويفضل أن تكون البداية من نهاية الشبكة أي من الجزء الأعمق.

٣. يتم حفر الخنادق بعرض مناسب، بحيث لا تقل المسافة بين جانب الخندق والماسورة عن ٢٠ سم من كل جانب، ويكون قاع الخندق بنفس ميل الماسورة وأقل منسوباً من منسوب قاع الماسورة بمسافة تساوي طبقة الأساس المناسبة للماسورة.

٤. ربط المواسير بطريقة تناسب نوعيتها وطولها ووزنها في الخندق بعناية، وعمل وصلاتها حسب المواصفات الخاصة بصناعتها، بحيث تكون المواسير بعد عمل وصلاتها مستقيمة تمامًا بطول الخط ومنتظمة الميل.

٥. عمل اختبار لضمان سلامة المواسير من الشروخ وعيوب الصناعة وضمان سلامة الوصلات. ويتم الاختيار بين كل مطبقين، ثم يتم إصلاح أي عيوب تظهرها الاختبارات على خطوط الصرف.

٦. يتم تغليف المواسير بالخرسانة العادية إذا احتاج الأمر لذلك، ثم يردم الخندق على طبقات صغيرة تدك بطريقة مناسبة لمواد الردم التي يجب ألا تحتوي على مواد صلبة كبيرة الحجم، ويتم الردم حتى سطح الأرض مع استخدام المياه مع عملية الدك إذا احتاج الأمر لذلك.

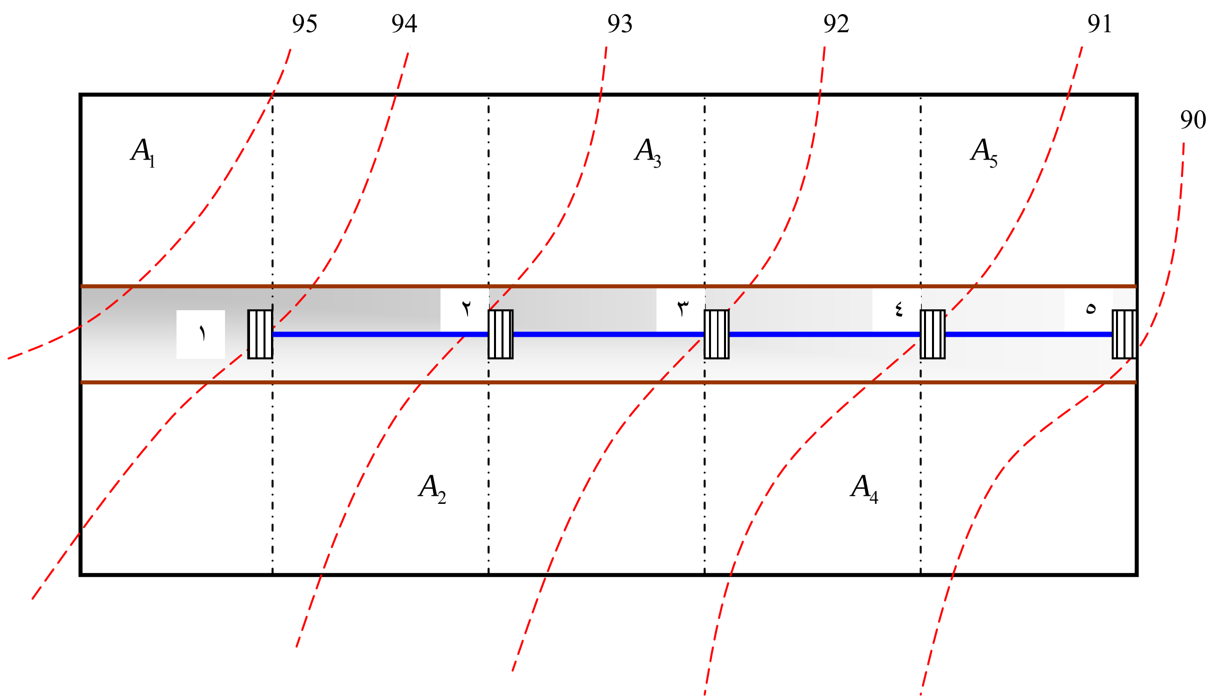
مثال (٤- ٥):

الشكل أدناه يوضح منطقة يراد تصميم شبكة تصريف مياه السيول بها، وقد تم تقسيم المنطقة إلى خمسة أجزاء، ومعطى:

- مساحة الأجزاء:

$$A_1 = 1.55 \times 10^{-2}\ km^2 \qquad A_2 = 1.40 \times 10^{-2}\ km^2$$
$$A_3 = 1.22 \times 10^{-2}\ km^2 \qquad A_4 = 1.05 \times 10^{-2}\ km^2$$
$$A_5 = 0.67 \times 10^{-2}\ km^2$$

- وقت الدخول لكل منطقة $t = 10\ \text{min}$
- معامل مياه السيول الجارية $C = 0.40$
- معامل احتكاك الأنابيب $n = 0.013$
- المسافة بين كل مطبقين متتاليين $L = 90\ m$
- شدة سقوط المطر تمثلها الصيغة $i = \dfrac{2880}{t + 20}$



الحل:

- تصميم الخط (١ -٢): مساحة التصريف للخط (١ -٢): $A = A_1$

$$A = 1.55 \times 10^{-2}\ km^2 = 15500\, m^2$$

$$t = 10 \min$$

$$i = \frac{2880}{t+20} = \frac{2880}{10+20} = 96\ mm/hr = 0.096\ m/hr$$

$$Q = C \cdot i \cdot A = 0.40 \times 0.096 \times 15500 = 595.2\ m^3/hr = 0.1653\ m^3/s$$

$$S = \frac{94-93}{90} = 0.011$$

بتطبيق معادلةماننق، يمكن حساب قطر الخط وسرعة تدفق المياه فيه:

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.1653 = \frac{0.312}{0.013} D^{\frac{8}{3}} (0.011)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{1-2} = (0.0654)^{3/8} = 0.36\ m = 360\ mm$$

$$V_{1-2}=\frac{0.397}{n}D^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}=\frac{0.397}{0.013}(0.36)^{\frac{2}{3}}(0.011)^{\frac{1}{2}}=1.63\ m/s$$

- تصميم الخط (٢- ٣): مساحة التصريف للخط (٢- ٣): $A=A_1+A_2$

$$A=1.55\times10^{-2}+1.40\times10^{-2}=2.95\times10^{-2}\ km^2=29500\ m^2$$

$$t=10+\frac{90}{1.63}\times\frac{1}{60}=10.92\min\cong11\min$$

$$i=\frac{2880}{t+20}=\frac{2880}{11+20}=92.9\ mm/hr=0.0929\ m/hr$$

$$Q=C\cdot i\cdot A=0.40\times0.0929\times29500=1096.22\ m^3/hr=0.3045\ m^3/s$$

$$S=\frac{93-92}{90}=0.011$$

$$Q=\frac{0.312}{n}D^{\frac{8}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.3045=\frac{0.312}{0.013}D^{\frac{8}{3}}(0.011)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{2-3}=(0.1204)^{3/8}=0.453\ m\cong450\ mm$$

$$V_{2-3}=\frac{0.397}{n}D^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}}=\frac{0.397}{0.013}(0.45)^{\frac{2}{3}}(0.011)^{\frac{1}{2}}=1.88\ m/s$$

- تصميم الخط (٣- ٤): مساحة التصريف للخط (٣- ٤): $A=A_1+A_2+A_3$

$$A = 1.55\times10^{-2} + 1.40\times10^{-2} + 1.22\times10^{-2} = 4.17\times10^{-2}\ km^2 = 41700\ m^2$$

$$t = 11 + \frac{90}{1.88}\times\frac{1}{60} = 11.80\min$$

$$i = \frac{2880}{t+20} = \frac{2880}{11.8+20} = 90.6\ mm/hr = 0.0906\ m/hr$$

$$Q = C\cdot i\cdot A = 0.40\times0.0906\times41700 = 1096.22\ m^3/hr = 0.42\ m^3/s$$

$$S = \frac{92-91}{90} = 0.011$$

$$Q = \frac{0.312}{n}D^{\frac{8}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.42 = \frac{0.312}{0.013}D^{\frac{8}{3}}(0.011)^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{3-4} = (0.167)^{3/8} = 0.51\ m \cong 500\ mm$$

$$V_{3-4} = \frac{0.397}{n}D^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}} = \frac{0.397}{0.013}(0.50)^{\frac{2}{3}}(0.011)^{\frac{1}{2}} = 2.02\ m/s$$

- <u>تصميم الخط (٤- ٥)</u>: مساحة التصريف للخط (٤- ٥) $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$

$$A = 1.55\times10^{-2} + 1.40\times10^{-2} + 1.22\times10^{-2} + 1.05\times10^{-2} = 5.22\times10^{-2}\ km^2 = 52200\ m^2$$

$$t = 11.8 + \frac{90}{2.02}\times\frac{1}{60} = 12.54\min$$

$$i = \frac{2880}{t+20} = \frac{2880}{12.54+20} = 88.51\ mm/hr = 0.08851\ m/hr$$

$$Q = C\cdot i\cdot A = 0.40\times0.08851\times52200 = 1848\ m^3/hr = 0.51\ m^3/s$$

$$S = \frac{91-90.2}{90} = 8.888\times10^{-3}$$

$$Q = \frac{0.312}{n}D^{\frac{8}{3}}S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.51 = \frac{0.312}{0.013}D^{\frac{8}{3}}(8.888\times10^{-3})^{\frac{1}{2}}$$

$$D_{4-5} = (0.225)^{3/8} = 0.572\ m \cong 570\ mm$$

$$V_{4-5} = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} = \frac{0.397}{0.013} (0.57)^{\frac{2}{3}} \left(8.888 \times 10^{-3}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.98\ m/s$$

بعد حساب أقطار الأنابيب وسرعة المياه فيها لجميع الخطوط، يلزم التأكد من تحقيق شروط التصميم وذلك على النحو التالي:

- أن تكون سرعة تدفق المياه لجميع الخطوط أعلى من السرعة الدنيا وهي 1.0 m/s.
- أن تكون أقطار الأنابيب لجميع الخطوط أكبر من القطر الأقل وهو 300 mm.
- أن تزيد أحجام الأقطار مع زيادة المساحة المصرفة، وهذا هو المطلوب.

أسئلة وتمارين:

١. عَدِّدْ الطرق المستخدمة لصرف مياه أمطار السيول مع شرح مختصرة لكل منها

٢. ما العوامل التي تتوقف عليها طرق تحديد كميات مياه السيول؟

٣. ما المبادئ التي يجب اتباعها لتصميم شبكات تصريف مياه السيول؟

٤. اشرح كيف يتم تحديد شدة وغزارة سقوط المطر؟

٥. عَدِّدْ العوامل التي يعتمد عليها تدفق مياه السيول مع شرح مختصر لكل منها

٦. عَدِّدْ الحالات التي تتطلب وضع غرف مراقبة وتفتيش (مطابق) على امتداد أنابيب شبكة تصريف مياه السيول

٧. اشرح خطوات تنفيذ تنفيذ شبكات تصريف مياه السيول

٨. احسب معامل مياه الأمطار الجارية لمنطقة سكنية مساحتها ١ كيلو متر مربع، حيث تغطي المباني ٣٥٪ من هذه المساحة وتغطي الممرات والأرصفة مسفلته٣٠٪ بينما تمثل النسبة المتبقية أرض عشبية على تربة رملية وتميل بنسبة ٥٪. ما كمية المياه المصرفة من هذه المنطقة عندما تكون شدة المطر ٩٠ مم / الساعة؟

٩. احسب كمية مياه السيول المصرفة لمنطقة سكنية مساحتها الإجمالية نصف كيلو متر مربع ومعامل مياه السيول الجارية ٠,٨٥، وشدة سقوط المطر عليها تمثلها الصيغة $i = \dfrac{4830}{t + 25}$، وزمن سقوط المطر ٧ دقائق.

١٠. أنبوب من الخرسانة يحمل كمية مياه مقدارها ٠,٠٥ م^{٣} / ثانية وهو مملوء بالكامل. فإذا كان يميل بمقدار ٠,٠٠٣٠، فكم يكون قطره وما سرعة تدفق المياه خلاله؟

شبكات المياه والصرف الصحي

شبكات تصريف السيول

الوحدة الخامسة : شبكات الصرف الصحي

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذا الفصل على أنواع المخلفات السائلة وعن طرق تجميعها وعن كيفية تخطيط وتصميم شبكات تصريف مياه الصرف الصحي.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون المتدرب بإذن الله قادرًا على:

٦. معرفة أنواع المخلفات السائلة.
٧. حساب معدلات التدفق للمخلفات السائلة.
٨. تخطيط وتصميم شبكات مياه الصرف الصحي.
٩. معرفة أنواع المواسير المستخدمة في الصرف الصحي.
١٠. قراءة الرسومات والمخططات لمشاريع شبكات الصرف الصحي.
١١. الإشراف على تنفيذ مشروعات شبكات الصرف الصحي.
١٢. صيانة شبكات الصرف الصحي.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل: ٨ ساعات.

شبكات الصرف الصحي

٥- ١ مقدمة

تحتوي مياه الصرف الصحي على المخلفات السائلة والتي يمكن تصنيفها على النحو التالي:

١. **المخلفات السائلة المنزلية**: وتسمى أيضاً مياه المجاري، وهي المياه المستعملة في الوحدات السكنية والإدارية والمباني العامة، والتي تأتي نتيجة استعمال الحمامات والمطابخ وغيرها.

٢. **المخلفات السائلة الصناعية**: وهي المخلفات الناتجة من المياه التي يتم استعمالها في عمليات التصنيع المختلفة، وتختلف مكوناتها حسب نوع الصناعة والمواد المستخدمة فيها وقد تحتوي على مواد سامة وضارة، ولذلك لا يسمح بصرفها في شبكات الصرف الصحي إلا إذا توفرت فيها الشروط اللازمة.

٣. **مياه الأمطار**: وهي المياه التي يتم تجميعها في شبكات الصرف أثناء تساقط الأمطار، وعادة تكون هذه المياه مصحوبة بالأتربة والمواد العضوية المختلفة.

٤. **مياه الرشح**: وهي المياه الجوفية التي يمكن أن تصل إلى مواسير الصرف إذا كان منسوب المياه الجوفية أعلى من منسوب المواسير. وتتوقف كمية هذه المياه على مسامية التربة ودرجة نفادية الماء فيها وعلى المواد التي تصنع منها المواسير.

ويتم تجميع مياه المخلفات المنزلية والمخلفات الصناعية ومياه الأمطار في شبكات تصريف تسير بالانحدار الطبيعي إلى غرف تفتيش ومنها ترفع إلى نقاط المعالجة.

٥- ٢ الدراسات الأولية لشبكات الصرف الصحي

قبل الشروع في أعمال تصميم شبكات الصرف الصحي، فلا بد من جمع البيانات والمعلومات التالية:

- الخرائط الجغرافية للمنطقة.
- خرائط كنتورية شاملة للمنطقة.
- خرائط تفصيلية تبين مخارج الصرف من المباني.
- خرائط تفصيلية تشمل مواقع خطوط المياه والكهرباء والغاز والهاتف.

- الكثافة السكانية للمنطقة.
- معلومات عن أماكن المناطق التجارية والصناعية في المنطقة.
- البيانات الخاصة بمعدلات استهلاك المياه في المنطقة.
- قطاعات طولية تبين طبيعة التربة ومنسوب المياه الجوفية.

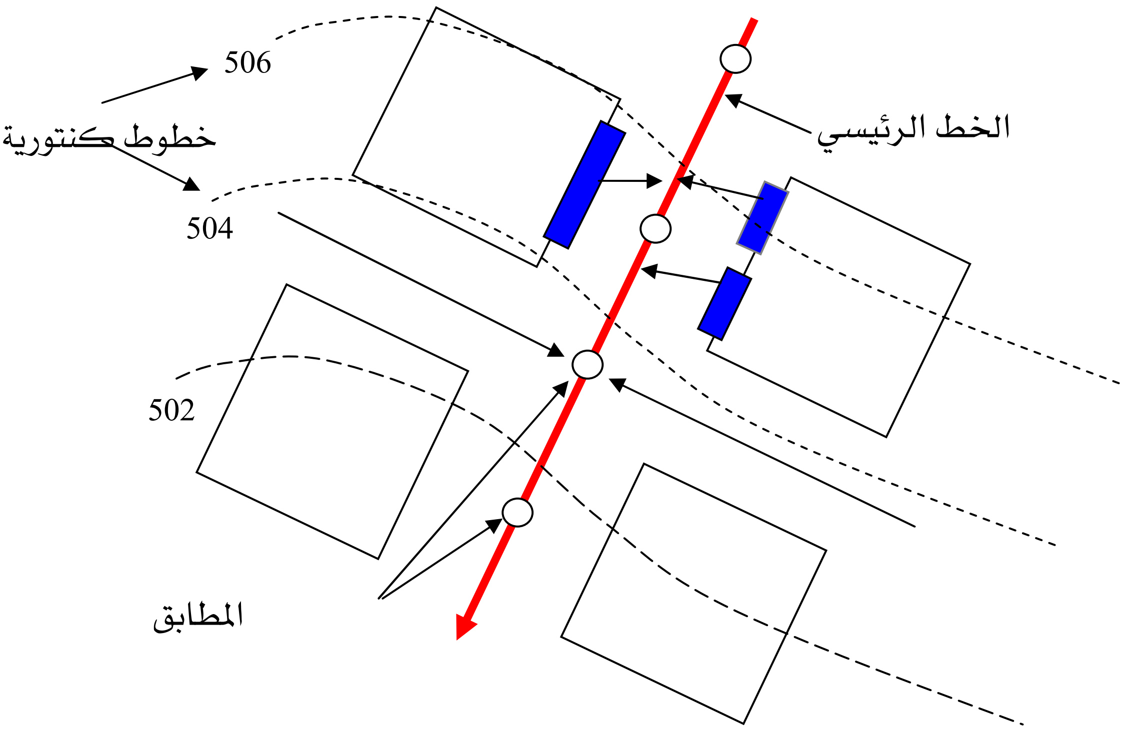
٥- ٣ أنواع شبكات الصرف الصحي

بحسب ظروف واحتياجات كل منطقة فإن شبكات تصريف الصرف الصحي تأخذ التصنيف التالي:

١. **شبكات صرف مشتركة**: تستخدم لتجميع المخلفات السائلة المنزلية والمخلفات الصناعية ومياه الأمطار.
٢. **شبكات صرف منفصلة**: تستخدم شبكة منفصلة لتجميع مياه الأمطار، وشبكة أخرى لتجميع المخلفات السائلة المنزلية والمخلفات الصناعية.
٣. **شبكة صرف مشتركة جزئيًا**: تستخدم لتجميع المخلفات المنزلية والصناعية، وصرف بعض الأسطح والممرات الداخلية. وتنشأ في بعض الأحيان شبكات لجميع المخلفات السائلة، ثم تنشأ هدارات على مواسير التجميع الرئيسية في نقط محددة لتحويل الزيادة في التصرفات أثناء العواصف الممطرة الشديدة إلى أماكن صرف محددة.

٥- ٤ التخطيط الأولي للشبكة

بناءً على الدراسات الأولية فإنه يمكن تصور أنسب تخطيط للشبكة بحيث يكون مسار الخطوط خالياً من العوائق. ويتم رسم خطوط الشبكة على طول الشوارع وتوضح بأسهم تبين اتجاه التدفق باتجاه ميول الأرض كما هو موضح في الشكل (٥- ١). ويجب أن يبين التخطيط كل التفصيل الخاصة بالخطوط الرئيسة للشبكة والمطابق وكافة المواسير المجاورة على الطريق.



الشكل (٥- ١): خريطة كنتورية تبين تخطيط الشبكة.

٥- ٥ أنواع المواسير المستخدمة في الصرف الصحي وملحقاتها

تستخدم مواسير متنوعة لصرف المخلفات السائلة، وهي مصنوعة من مواد مختلفة مثل الفخار والخرسانة والبلاستيك والزهر وغيرها. ومن أهم أنواع المواسير ما يلي:

- مواسير الفخار الحجري (Verified clay pipes: VCP): وتنتج بأقطار تتراوح بين ١٥٠ و ٦٠٠ مم وتستخدم لخطوط الانحدار فقط، وقدرة تحملها للضغط الداخلي قليلة. ويعد هذا النوع من أفضل أنواع المواسير الحاملة لمياه الصرف الصحي لكونها رخيصة الثمن وسهلة التصنيع والتركيب والصيانة ولها عمر افتراضي طويل، والشكل (٥- ٢) يوضح عينة من هذه المواسير.
- مواسير الخرسانة العادية (Plain concrete pipes: PC): تنتج بأقطار تصل إلى ٣٠٠ مم وبوصلات مرنة مما يساعد خط المواسير على الترتيب دون حدوث أي كسر في حالة هبوط التربة.
- مواسير الخرسانة المسلحة (Reinforced concrete pipes: RC): وتنتج بأقطار كبيرة تتراوح بين ٦٠٠ مم و ٣٠٠٠ مم وبوصلات مرنة كما يوضحها الشكل (٥- ٣)، وتستخدم عموماً في خطوط الانحدار.

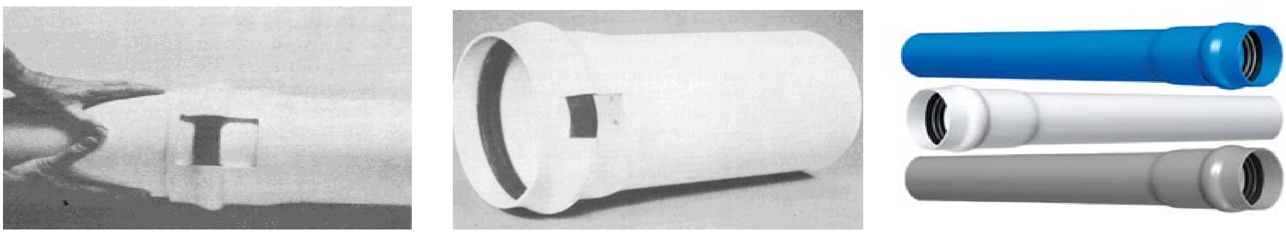
- مواسير الفيبرجلاس (Glass fiber reinforced pipes: GRP): وتنتج بأقطار كبيرة من ٦٠٠ إلى ٣٠٠٠ مم وتتميز بخفة وزنها وبسهولة تركيبها ويمكن تنزيلها يدوياً إلى قطر ٨٠٠ مم.
- مواسير بوليفينيل كلورايد (Polyvinyl chloride pipes: PVC): وتتراوح أقطارها من ١٥٠ مم إلى ٣٠٠ مم، وهي خفيفة الوزن وسهلة التركيب، والشكل (٥- ٤) يوضح عينة منها.



الشكل(٥- ٢): مواسير الفخار الحجري (VCP).



الشكل(٥- 3): مواسير خرسانية (RC).

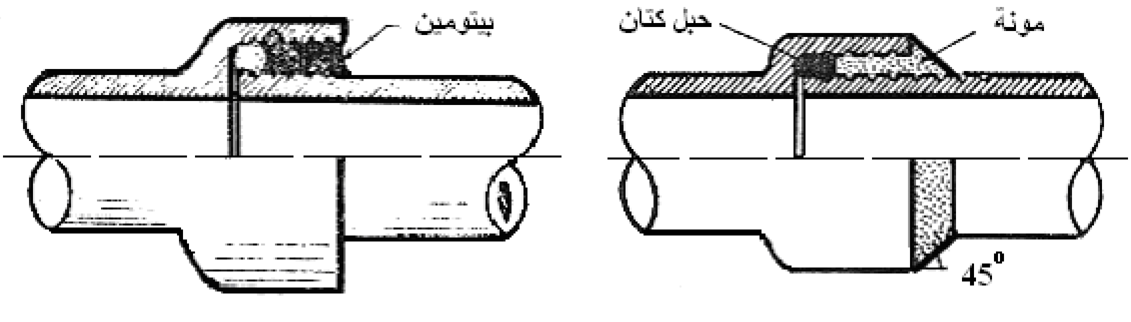


الشكل (٥- 4): مواسير بوليفينيل كلورايد (PVC).

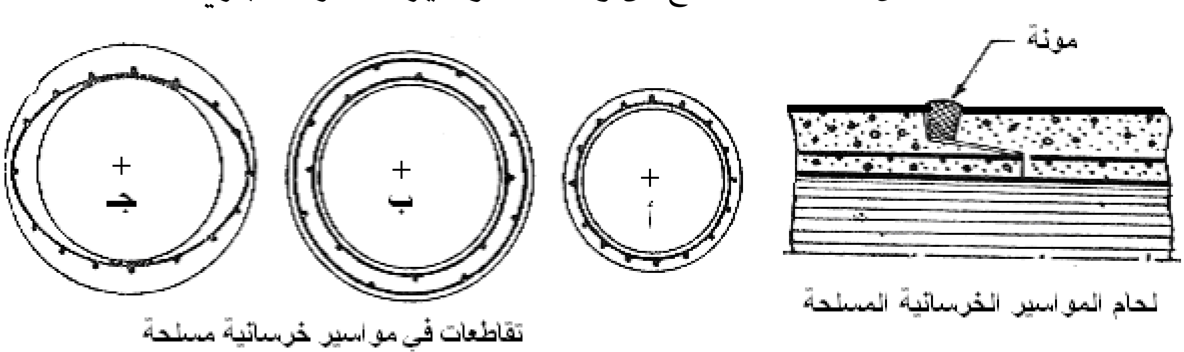
ويراعى في اختيار نوع المواسير الأسس التالية:

١. توفر المواسير بالأقطار والكميات المطلوبة.
٢. مقاومة المواسير للأحمال الخارجية.
٣. الأسعار المناسبة.
٤. سهولة التنفيذ.
٥. طبيعة التربة ومدى تحملها.

ولربط المواسير ببعضها البعض تستخدم وصلات كثيرة حسب أنواع المواسير، وتشمل المواصفات الفنية طرق اللحام أو التوصيل لمختلف أنواع وأحجام المواسير، وكذلك طرق وضع المواسير وحمايتها. ويفضل اختيار نوع المواسير التي تكون لحاماتها مرنة وسهلة التنفيذ وهذا يعطي ضماناً أكثر في حالة هبوط التربة الضعيفة. فبالنسبة لمواسير الفخار تستخدم فيها لحامات مونة الرمل والإسمنت مع حبل الكتان المقطرن كما هو مبين في الشكل (٥- ٥). وتستخدم مونة الرمل والإسمنت كذلك في المواسير الخرسانية كما هو مبين في الشكل (٥- ٦). ولمواسير الفيبرجلاس تستخدم وصلات مرنة بالكبس وتستخدم كذلك وصلات مسننة ولحام سائل.



الشكل (٥- ٥): نماذج من وصلات مواسير الفخار الحجري.



الشكل (٥- ٦): وصلة مواسير الخرسانة المسلحة.

٥- ٦ حساب أقطار المواسير

يتوقف حساب أقطار مواسير شبكات الصرف الصحي على الأسس التالية:

١. حساب معدلات التدفق للمخلفات السائلة للمنطقة.

٢. اختيار القوانين الهيدروليكية المناسبة للتصميم.

٣. تحديد سرعة التدفق وميول الخطوط.

٤. اختيار نوع المواسير.

وعند تصميم شبكات الصرح الصحي فيلزم مراعاة العوامل الهندسية التالية:

١. استخدام مواسير ذات أقطار أكبر من ٣٠٠ مم كحد أدنى بالنسبة للخطوط الرئيسة ومواسير ذات أقطار أكبر من ٢٠٠ مم كحد أدنى بالنسبة للوصلات المنزلية.

٢. أن لا تقل السرعة التصميمية للتدفق عندما تكون المواسير مملوءة عن:

- ٩٠ سم / ثانية للمواسير التي تصل أقطارها إلى ٢٠٠ مم.
- ٨٠ سم / ثانية للمواسير التي تكون أقطارها بين ٢٠٠ و ٥٠٠ مم.
- ٧٥ سم / ثانية للمواسير التي تزيد أقطارها عن ٥٠٠ مم.
- لا تقل السرعة في أي خط عن السرعة في الخط السابق له.
- لا تقل السرعة في المواسير عن ٤٥ سم / ثانية في حالة أدنى تدفق.
- لا تزيد السرعة في الشبكة عن ٣٠٠ سم / ثانية في جميع الأحوال.
- لا يقل الميل عن ٠,٠٠٣٣ للمواسير التي أقطارها ٢٠٠ مم وعن ٠,٠٠٠٨ للمواسير التي أقطارها ٩٠٠ مم.

٥- ٦- ١ حساب معدلات تدفق المخلفات السائلة

تختلف معدلات تدفق المخلفات السائلة من منطقة لأخرى حسب اختلاف الكثافة السكانية ومعدلات الاستهلاك للمياه ونوعية وأحجام المواسير. ويتم حساب معدلات تدفق مياه الصرف الصحي كالتالي:

(٥- ١) متوسط التدفق = (الكثافة السكانية)×(مساحة المنطقة)×(متوسط الاستهلاك اليومي)× ٠,٧٥

(٥- ٢) أقصى تدفق = متوسط التدفق × P

حيث P : معدل الذروة (Peaking factor) ويكون: $2 \le P \le 6$

فإذا كان التعداد السكاني أقل من ٨٠٠٠٠ نسمة فإن:

$$P = \frac{5.75}{p^{0.2}} \qquad (٥-٣)$$

أما إذا كان التعداد أكبر من ٨٠٠٠٠ نسمة فإن:

$$P = 1 + \frac{18}{4 + p^{0.5}} \qquad (٥-٤)$$

حيث p: التعداد السكاني بالآلاف.

مثال (٥- ١):

احسب أقصى تدفق للمخلفات السائلة لمنطقة سكانية مساحتها ٤ كم^2 والكثافة السكانية فيها ٩٥٠٠ نسمة / كم^2 ومتوسط الاستهلاك اليومي ١٧٥ لتر / شخص / يوم.

الحل:

متوسط التدفق = (الكثافة السكانية)×(مساحة المنطقة)×(متوسط الاستهلاك اليومي)× ٠,٧٥

$$\text{متوسط التدفق} = 9500 \times 4 \times 175 \times 0.75 \times \frac{1}{1000} = 4987.5 \text{ م}^3 \text{ / يوم}$$

التعداد السكاني = (الكثافة السكانية)×(مساحة المنطقة) = ٣٨٠٠٠ نسمة

التعداد السكاني أقل من ٨٠٠٠٠ نسمة:

$$P = \frac{5.75}{p^{0.2}} = \frac{5.75}{38^{0.2}} = 2.78$$

أقصى تدفق = متوسط التدفق × P = ٤٩٨٧,٥ × ٢,٧٨ = ١٣٨٦٥,١٥ م^3 / يوم

٥- ٦- ٢ المعادلة التصميمية

تستخدم القوانين الهيدروليكية المختلفة التي تحكم سريان المياه بالانحدار في المواسير والقنوات، ومن هذه القوانين معادلةماننج (Manning Equation) التي تعد من بين المعادلات الأكثر استخداماً في تصميم شبكات الصرف الصحي، وهي:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{2/3} S^{1/2} \qquad (٥- ٥)$$

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{8/3} S^{1/2} \qquad (٥- ٦)$$

حيث:

V: السرعة (م / ثانية) (Velocity)

D: قطر المواسير (متر)

S: درجة الميل الهيدروليجية (Hydraulic gradient)

Q: التدفق (متر مكعب / ثانية) (Flow)

n: معامل ماننج وهو ثابت = ٠,٠١٣ للمواسير الجديدة و ٠,٠١٥ للمواسير القديمة.

مثال (٥- ٢):

أنبوب دائري من الخرسانة يميل بمقدار ٠,٠٠٣٣ ويحمل كمية مياه صرف صحي مقدارها تدفقها $0.16\ m^3/s$ وهو مملوء بالكامل. فإذا كان معامل احتكاكه $n = 0.013$، فكم يكون قطره؟ وما سرعة تدفق هذه المياه خلاله؟

الحل:

- يتم حساب قطر الأنبوب من المعادلة (٥- ٦):

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

$$0.16 = \frac{0.312}{0.013} \times D^{\frac{8}{3}} \times (0.0033)^{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore D = (0.116)^{3/8} = 0.446\ m = 446\ mm$$

وبالتالي يلزم استخدام مواسير بقطر $D = 450\,\text{mm}$

- بعد حساب قطر الأنبوب، يتم استخدام المعادلة (٥- ٥) لتحديد سرعة التدفق:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$
$$= \frac{0.397}{0.013} \times (0.450)^{\frac{2}{3}} \times (0.0033)^{\frac{1}{2}} = 1.03\ m/s = 103 \text{ cm/s}$$

٥- ٧ حساب مقاومة المواسير

يمكن حساب مقاومة المواسير للأحمال الخارجية باتباع الخطوات التالية:

١. حساب الحمل الناتج عن تربة الردم التي فوق الأنبوب (Earth load).

٢. حساب الحمل الحي (Live load).

٣. تحديد نوع الفرش (Bedding) المحيط بالأنبوب.

٤. حساب معامل الحمل (Load factor).

٥. تطبيق معامل الأمان (Factor of safety).

٦. حساب مقاومة الأنبوب (Pipe strength).

٥- ٧- ١ الحمل الناتج عن مادة الردم

يمكن حساب الحمل الناتج عن مادة الردم في حالة أنبوب مدفون في خندق كما هو موضح في الشكل (٥- ٧) باستخدام العلاقة التالية:

$$W_E = C_d W B \qquad (٥- ٧)$$

حيث:

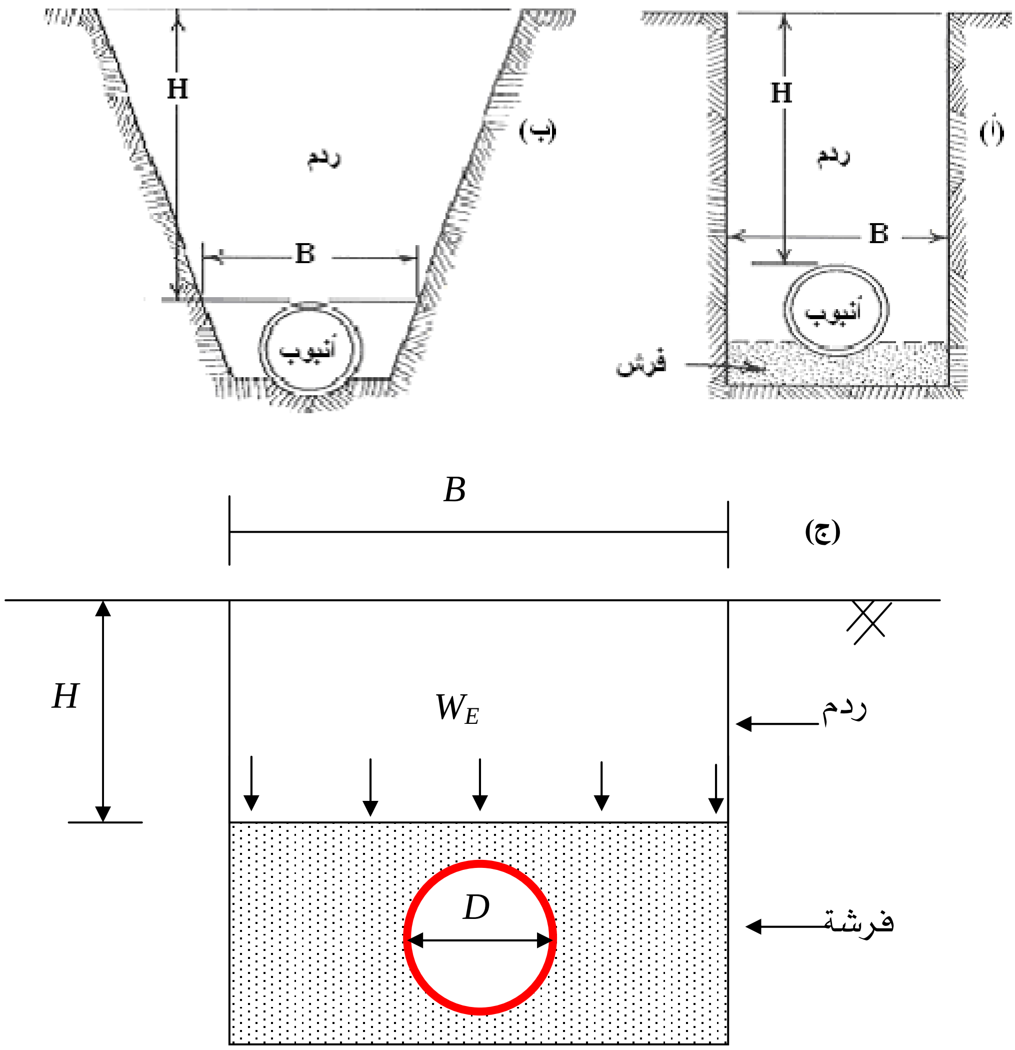
W_E: الحمل الذي يتعرض له الأنبوب لكل وحدة طولية منه.

W: وحدة الأوزان الخاصة بتربة الردم، والجدول (٥- ١) يعطي قيم W لبعض أنواع التربة التي تستخدم في ردم المواسير.

B: عرض الخندق، ويمكن أن يستنتج من العلاقة: $B = 1.5D + 300$.

C_d: معامل يتعلق بعمق الخندق.

D: قطر الأنبوب



الشكل (٥- ٧): الحمل الناتج عن مادة الردم.

ويمكن الحصول على المعامل C_d من الشكل (٥- ٨) أو حسابه باستخدام العلاقة التالية:

$$C_d = \frac{1-e^{-2ku'H/B}}{2ku'} \qquad (٥- ٨)$$

حيث:

H: عمق الردم الذي فوق الأنبوب.

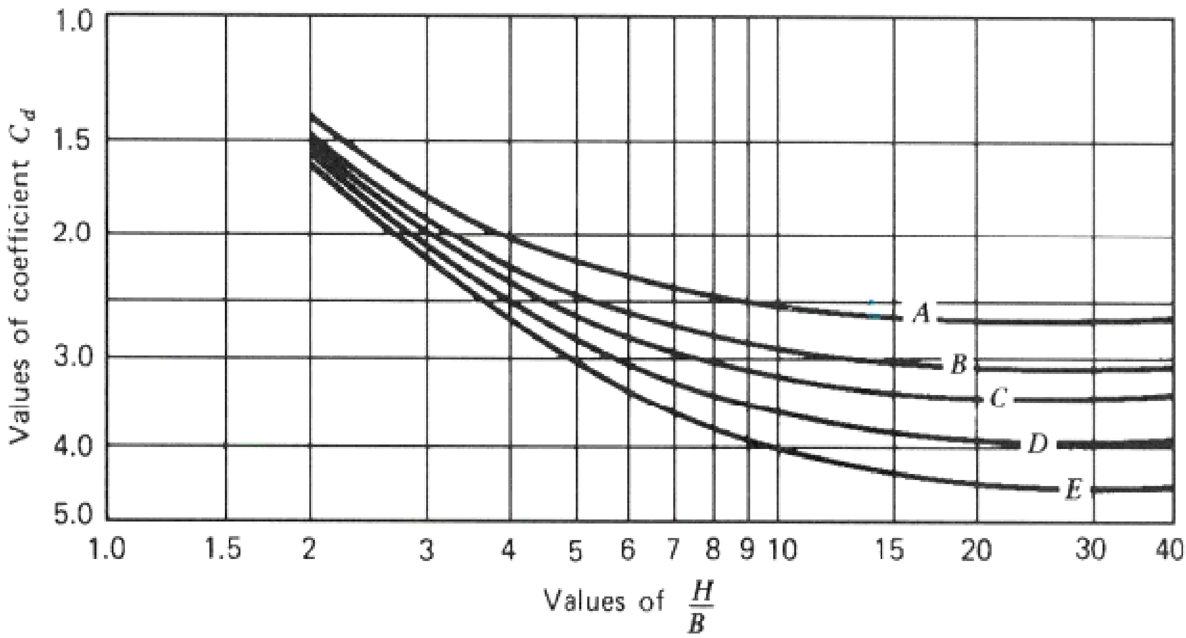
k: النسبة بين الضغطين الداخلي والرأسي.

u': معامل الاحتكاك بين مادة الردم وجوانب الخندق.

والجدول (٥- ٢) يعطي قيم (ku') لأغلب أنواع التربة المستخدمة في الردم.

الجدول (٥- ١): وحدة الأوزان لبعض أنواع التربة.

نوع التربة	وحدة الأوزان (kg/m^3)
رمل جاف (Dry sand)	١٦٠٠
رمل عادي (Ordinary sand)	١٨٤٠
رمل مبلل (Wet sand)	١٩٢٠
رمل رطب (Damp sand)	١٩٢٠
طين مشبع (Saturated clay)	٢٠٨٠
تربة سطحية مشبعة (Saturated topsoil)	١٨٤٠
تربة سطحية ورمل رطب (Sand and damp topsoil)	١٦٠٠



الشكل (٥- ٨): استنتاج قيم المعامل C_d.

الجدول (٥- ٢): قيم لبعض (ku') أنواع التربة

نوع التربة	أقصى قيم (ku')
تربة غير متماسكة (Cohesionless granular soil)	٠,١٩٢
رمل وزلط (Sand and gravel)	٠,١٦٥
تربة سطحية مشبعة (Saturated topsoil)	٠,١٥٠
طين (Saturated clay)	٠,١٣٠
طين مشبع (Saturated clay)	٠,١١٠

مثال (٥- ٣):

احسب الحمل الذي يتعرض له أنبوب موضوع في خندق عمقه ٣,٦ م ومردوم بتربة طينية مشبعة، علماً أن قطر الأنبوب ٦٠٠ مم.

الحل:

يتم أولاً تحديد عمق الردم فوق الأنبوب (H) :

= عمق الخندق – قطر الأنبوب

$$H = 3.6 - 0.6 = 3.0\,m$$

بالرجوع إلى الجدول (٥- ١) يتبين أن وحدة وزن التربة:

$$W = 2080\,kg/m^3$$

ومن الجدول (٢- ٥) وبحسب نوع التربة فإن:

$$ku' = 0.110$$

وبمعرف قطر الأنبوب يتم استنتاج عرض الخندق كما يلي:

$$B = 1.5D + 300$$
$$= (1.5 \times 600) + 300 = 1200\,mm = 1.2\,m$$

بتطبيق المعادلة (٨- ٥) يحسب المعامل C_d:

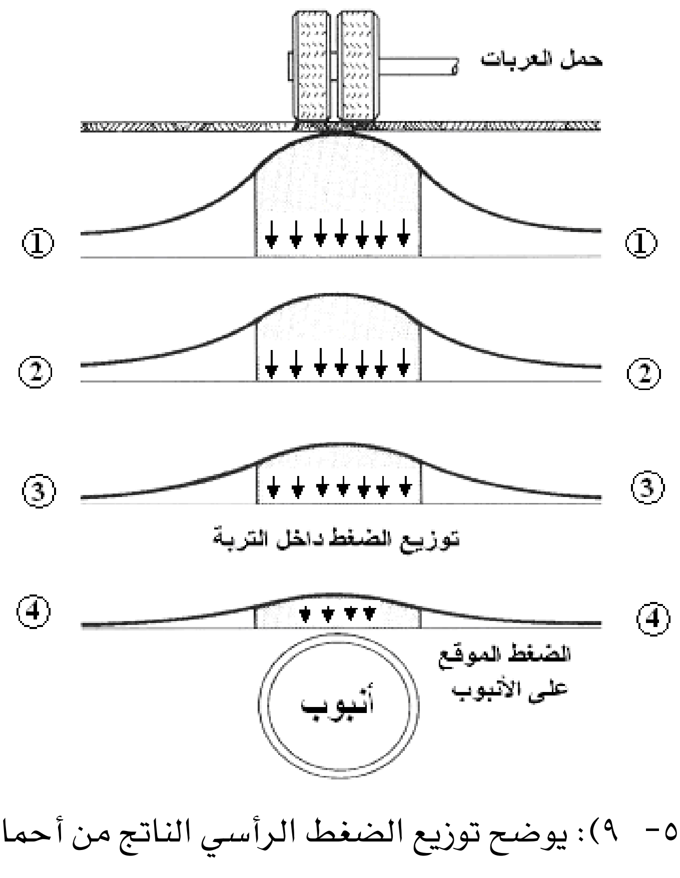
$$C_d = \frac{1-e^{-2ku'H/B}}{2ku'}$$
$$= \frac{1-e^{-2(0.11)3/1.2}}{2\times(0.11)} = 2.2$$

وبالتالي يكون الحمل لكل متر طولي من الأنبوب W_E:

$$W_E = C_d W B$$
$$= 2.2\times 2080\times 1.2 = 5491.2\ kg/m$$

٥- ٧- ٢ الأحمال الحية الواقعة على المواسير

وتشمل أحمال المباني القريبة من خط المواسير والأحمال المرورية وغيرها، وتؤثر هذه الأحمال بالشكل كبير على الخطوط القريبة من سطح الأرض كما هو مبين في الشكل(٥- ٩). ويمكن حساب نسبة الحمل التي تصل إلى خط المواسير باستخدام الجدولين (٥- ٣) و(٥- ٤).



الشكل (٥- ٩): يوضح توزيع الضغط الرأسي الناتج من أحمال المرور على التربة عند قطاعات رأسية مختلفة وحتى الضغط على الماسورة.

الجدول (٥- ٣): نسبة الأحمال السطحية (الطويلة) التي تصل إلى المواسير.

نسبة العمق إلى العرض	رمل وتربة سطحية	تربة سطحية مشبعة	تربة طينية رطبة	تربة طينية مشبعة
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
0.5	0.85	0.86	0.88	0.89
1.0	0.72	0.75	0.77	0.80
1.5	0.61	0.64	0.67	0.72
2.0	0.52	0.55	0.59	0.64
3.0	0.37	0.41	0.45	0.51
4.0	0.27	0.31	0.35	0.41
5.0	0.19	0.23	0.27	0.33
6.0	0.14	0.17	0.20	0.26
8.0	0.07	0.09	0.12	0.17
10.0	0.04	0.05	0.07	0.11

الجدول (٥- ٤): نسبة الأحمال السطحية (القصيرة) التي تصل إلى المواسير.

نسبة العمق إلى العرض	رمل وتربة سطحية	تربة سطحية مشبعة	تربة طينية رطبة	تربة طينية مشبعة
0.0	1.00	1.00	1.00	1.00
0.5	0.77	0.78	0.79	0.81
1.0	0.59	0.61	0.63	0.66
1.5	0.46	0.48	0.51	0.54
2.0	0.35	0.38	0.40	0.44
2.5	0.27	0.29	0.32	0.35
3.0	0.21	0.23	0.25	0.29
4.0	0.12	0.14	0.16	0.19
5.0	0.07	0.09	0.10	0.13
6.0	0.04	0.05	0.06	0.08
8.0	0.02	0.02	0.03	0.04
10.0	0.01	0.01	0.01	0.02

٥- ٧- ٣ معامل الحمل المؤثر

يحسب معامل الحمل المؤثر باستخدام العلاقة التالية:

$$L_f = \frac{[W_E + W_L]}{W_B} \qquad (٥- ٩)$$

حيث:

L_f: معامل الحمل (Load Factor)

W_E: الحمل الخارجي الذي يتعرض له الأنبوب (External Load) للمتر الطولي

W_L: الحمل الحي الذي يتعرض له الأنبوب (Live Load) للمتر الطولي

W_B: قدرة التحمل للثلاث حافات (Three-edge bearing strength)

٥- ٧- ٤ تطبيق معامل الأمان

عند تحديد مقاومة المواسير للأحمال الخارجية فإن معامل الأمان F_S يحدد بالقيم التالية:

- مواسير الخرسانة المسلحة: $F_s = 1$
- مواسير أخرى غير الخرسانة المسلحة ما بين: $F_s = 1.25 - 1.5$

٥- ٧- ٥ قدرة التحمل اللازمة للمواسير

تحسب قدرة تحمل المواسير باستخدام العلاقة التالية:

$$W_B = \left(\frac{W_E}{L_f} + \frac{W_L}{1.5}\right) F_S \qquad (٥- ١٠)$$

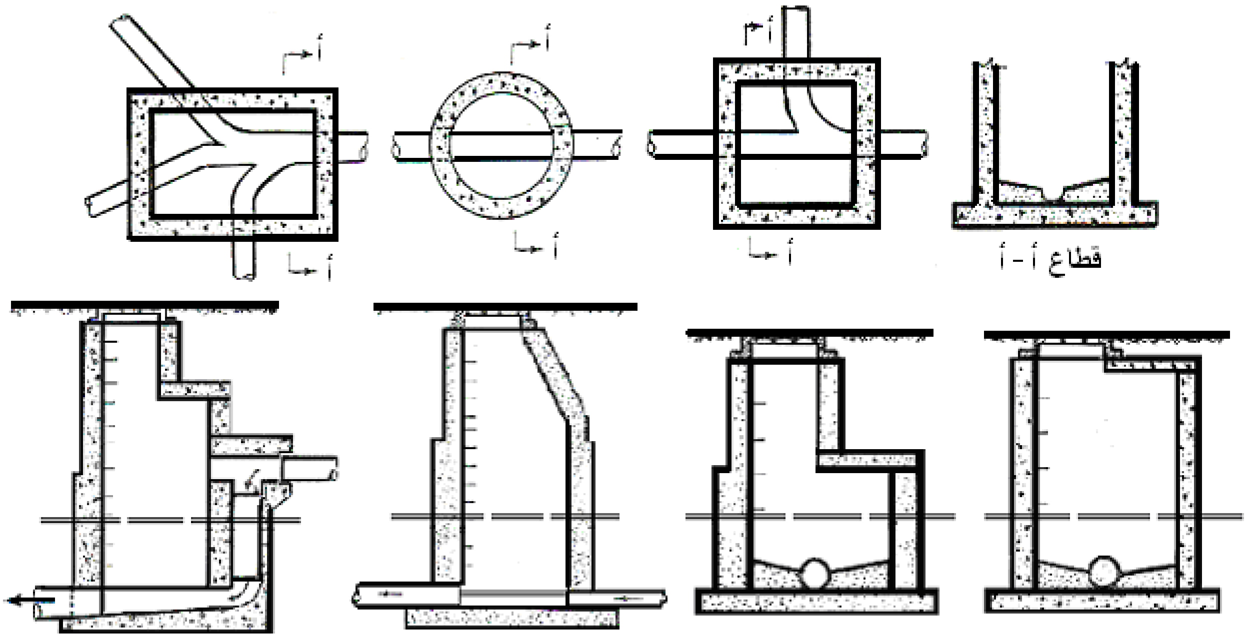
٥- ٨ غرف التفتيش (المطابق) الخاصة بشبكات الصرف الصحي

المطابق أو غرف التفتيش هي عبارة عن فتحات مصممة جدرانها من الطوب أو الخرسانة العادية أو المسلحة، وتنشأ على خطوط الانحدار بهدف تمكين أعمال الصيانة من إزالة كل الرواسب الموجودة في الخطوط. وتوضع المطابق في الأماكن التالية:

- عند تغير قطر الماسورة
- عند تغير ميل الخط
- عند تغير اتجاه الماسورة
- عند اتصال خطوط التصريف ببعضها
- كل مسافة معينة تناسب قطر الماسورة لتيسير أعمال الصيانة

وللمطابق ثلاثة أشكال: مربعة، ومستطيلة، ودائرية كما هو موضح في الشكل (٥- ١٠). فتكون على الشكل مربع طول ضلعه من ٦٠ إلى ٧٠ سم إذا كانت أعماقها صغيرة، وتسمى في هذه الحالة بغرف التفتيش، وعادة ما تصمم في بداية الخطوط الفرعية. أما إذا كان العمق في حدود متر واحد فتأخذ الأشكال الثلاث التالية:

- مربع (١ × ١ م)
- مستطيل (٠,٨ × ١,٢ م)
- دائرة قطرها في حدود ١ م



الشكل (٥- ١٠): أشكال المطابق في شبكات الصرف الصحي.

٥- ٩ الوصل بين المواسير وغرف التفتيش

تنشأ غرف تفتيش (مطابق) على مسافات مختلفة يتم وصلها عن طريق المواسير، ويمكن أن تصل المسافة بينها إلى أكثر من مائة متر حسب أقطار المواسير. فإذا كانت أقطار خطوط التصريف أكبر من ١٢٠٠ مم فتكون المسافات بين المطابق في حدود ١٢٠ م، أما إذا كانت أقطار التصريف أقل أو تساوي ٦٠٠ مم فتكون المسافات بينها من ٦٠ إلى ٨٠ متر.

وإذا كانت أقطار المواسير بين ٧٠٠ إلى ١٢٠٠ فيلزم أن تكون الأبعاد بين المطابق في حدود ١٠٠ متر. كما تعتمد أبعاد المطابق على عمقها، فكلما زاد العمق زادت أبعاد المطابق.

٥- ١٠ قراءة الرسومات لمشاريع شبكات الصرف الصحي

يتم رسم القطاع الجانبي العمودي لكل خط من خطوط الشبكة بحسب البيانات المساحية، وكما في مشاريع تصريف مياه السيول فإن القطاع الجانبي لخطوط شبكة الصرف الصحي يلزم أن يتراوح مقياس التخطيط الأفقي له من ١:٥٠٠ إلى ١:١٠٠٠ حسب التفاصيل اللازم توضيحها. أما مقياس التخطيط الرأسي فيمكن أن يؤخذ ١٠ أضعاف المقياس الأفقي. ويبين الوجه الجانبي كل المعلومات الخاصة بمستوى سطح الأرض ومواقع غرف التفتيش ونوع الفرش وميول المواسير وحجم المواسير وغيرها.

٥- ١١ تنفيذ شبكات الصرف الصحي

يتم تنفيذ شبكات الصرف الصحي حسب الخطوات التالية:

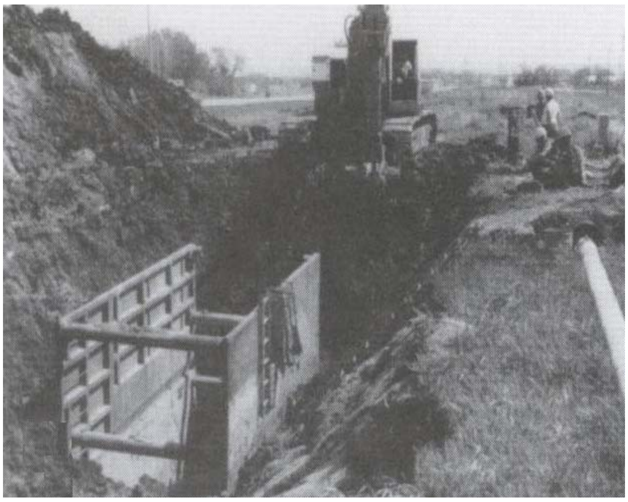
١. يتم إنشاء مواسير التصريف وفق دراسة جادة للمنطقة مع تجنب خطوط الخدمات الأخرى مثل المياه والكهرباء والغاز.

٢. حفر الخنادق بطريقة جيدة، حيث يكون العرض كافياً لوضع الماسورة، ولا يسبب ذلك أضراراً سلبية على الأنشطة الواقعة بالمنطقة. ويلزم أن لا تقل المسافة بين جانب الخندق والماسورة عن ٢٠ سم من كل جانب ويكون قاع الخندق بنفس ميل الماسورة. ويجب عمل شدات لمنع انهيار الأتربة كما هو مبين في الشكل (٥- ١١) ويتوقف ذلك على نوع التربة وعلى عمق الحفر.

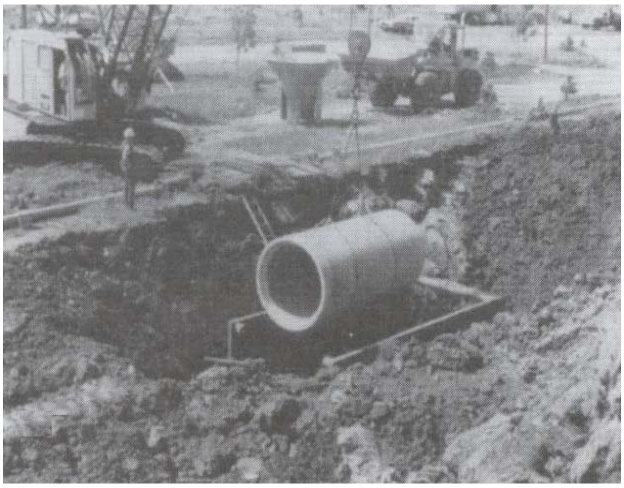
٣. فرش الرمل في الخندق بسمك ١٥ سم تقريباً، ثم توضع المواسير بعناية وبطريقة تناسب نوعيتها كما في الشكل (٥- ١١)، وتوصيلها بطريقة مستقيمة تماماً على طول الخط ولها ميل منتظم.

٤. إجراء اختبار الضغط المائي كمرحلة تجريبية حتى تضمن سلامة المواسير من الشروخ وكل العيوب الفنية وكذا ضمان الوصلات.

٥. بعد عمل التجربة والتأكد من صحة خط التصريف وإصلاح العيوب إن وجدت، يتم تغليف المواسير بالخرسانة العادية ثم ردم الخندق حتى سطح الأرض.



١-   حفر الخندق وعمل الشدات



٢-   وضع المواسير في الخندق



٣-   اختبار المواسير ثم ردم الخندق

الشكل (٥- ١١): صور تبين مراحل تنفيذ مواسير التصريف.

٥- ١٢ تجربة الضغط للمواسير

إن الهدف من تجربة الضغط المائي للمواسير هو التأكد من عدم وجود تسرب أو فقدان للمياه في الخط الذي تم إنشاؤه. وتتم هذه العملية قبل إقفال أو ردم الخط وعند التسليم الابتدائي للمشروع وبعد سنة من تسليم المشروع. وتتم التجربة وفق المراحل التالية:

١. سد فتحة الطرف السفلي لخط المواسير.

٢. ملء المواسير بالمياه بعد تفريغها من الهواء وتركها لمدة ساعة، حيث يشبع جدار المواسير والوصلات بالمياه مما يؤدى إلى نقص في كمياتها.

٣. إعادة ملء المواسير بالمياه كمرحلة ثانية وتترك لمدة نصف ساعة.

٤. قياس كمية المياه المفقودة لكل جزء من المساورة طوله ٥٠ متر وحسب قطر الماسورة ولمدة عشرين دقيقة كمرحلة ثانية. وتنص المواصفات على التالي:

- مواسير قطر ٢٠٠ مم: ٢ لتر
- مواسير قطر ٢٥٠ مم: ٣,١ لتر
- مواسير ٣٠٠ مم: ٤,٥ لتر

٥. بينما تكتفي مواصفات أخرى بالنص على عدم ظهور آثار رشح في جسم الماسورة أو اللحامات بعد استمرار ضغط الماء لمدة عشر دقائق بارتفاع مترين.

أسئلة وتمارين:

١. عدد أنواع المخلفات السائلة مع شرح مختصر لكل منها
٢. ما البيانات والمعلومات اللازمة لتصميم شبكات الصرف الصحي؟
٣. عدد أنواع شبكات تصريف مياه الصرف الصحي مع شرح مختصر لكل صنف منها؟
٤. عدد أنواع المواسير المستخدمة في شبكات الصرف الصحي واذكر الأسس التي يجب أخذها في الاعتبار عند اختيار نوع المواسير؟
٥. ما الأسس التي يجب مراعاتها عند تصميم شبكات الصرف الصحي؟
٦. وضح كيف يتم حساب معدلات تدفق مياه الصرف الصحي ثم اذكر المعادلات التصميمية المستخدمة في الحساب؟
٧. عدد الأسس التي يتوقف عليها حساب أقطار مواسير شبكات الصرف الصحي وما العوامل الهندسية التي يلزم مراعاتها عند تصميم الشبكات؟
٨. اذكر الخطوات المتبعة في حساب مقاومة المواسير للأحمال الخارجية؟ ثم وضح كيف يتم حساب الحمل الناتج من مادة الردم (الأحمال الميتة) على المواسير المستخدمة في شبكات الصرف الصحي؟
٩. اشرح خطوات عمل تجربة الضغط المائي التي يلزم القيام بها للتأكد من عدم وجود تسرب أو فقدان المياه في الخط الذي تم إنشاؤه
١٠. احسب الحمل الذي يتعرض له أنبوب موضوع في خندق ومردوم بتربة طينية مشبعة، علماً أن قطر الأنبوب ٣٠٠ مم وعمق الخندق ٣ م.

شبكات المياه والصرف الصحي

شبكات تصريف السيول

الوحدة السادسة : المضخات ومحطات الضخ

الجدارة:

يتعرف المتدرب في هذا الفصل على أنواع المضخات المستخدمة في رفع المياه من الأحواض والخزانات إلى شبكات توزيع مياه التغذية، كما يتعرف على كيفية اختيار نظام تشغيل وحدات الضخ وحساب قدرة وكفاءة المضخات.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذا الفصل يكون المتدرب قادراً بإذن الله على:

١٣.معرفة أنواع المضخات المختلفة.

١٤.اختيار المضخات المناسبة لشبكة التوزيع.

١٥.حساب قدرة المضخات.

١٦. حساب كفاءة وحدات الضخ.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذا الفصل بنسبة لا تقل عن ٩٥ ٪.

الوقت المتوقع لإنهاء هذا الفصل: ٤ ساعات.

المضخات ومحطات الضخ

٦- ١ مقدمة

تعمل المضخات على رفع المياه بعد مرحلة الترشيح والتطهير من أحواض المياه المرشحة ومن الخزانات إلى شبكة توزيع المياه، وذلك لإمداد المدينة بالمياه بالمعدلات والضغوط المناسبة.

٦- ٢ أنواع المضخات

تنقسم المضخات حسب رفع المياه إلى قسمين:

١. **مضخات الضغط المنخفض**: وتقوم برفع المياه من بئر المياه العكرة الملحق بمحطة المضخات حتى منسوب المياه في عمليات التنقية وهذا لا يزيد عادة عن عشرة أمتار ولذلك سميت محطات الرفع المنخفض.

٢. **مضخات الضغط العالي**: وهي التي توجد في أول شبكة التوزيع وتضغط الماء بحيث يكون الضغط في شبكة المياه يساوي ٢٥ متر ماء في أقص نقطة في المدينة.

وهناك ثلاثة أنواع رئيسة من المضخات:

- **مضخات طرد مركزية** (Centrifugal Pumps)
- **مضخات ترددية** (Reciprocating Pumps)
- **مضخات دورانية** (Rotary Pumps)

الشكل (٦- ١) يوضح أنواعاً مختلفة للمضخات المستخدمة لرفع المياه.



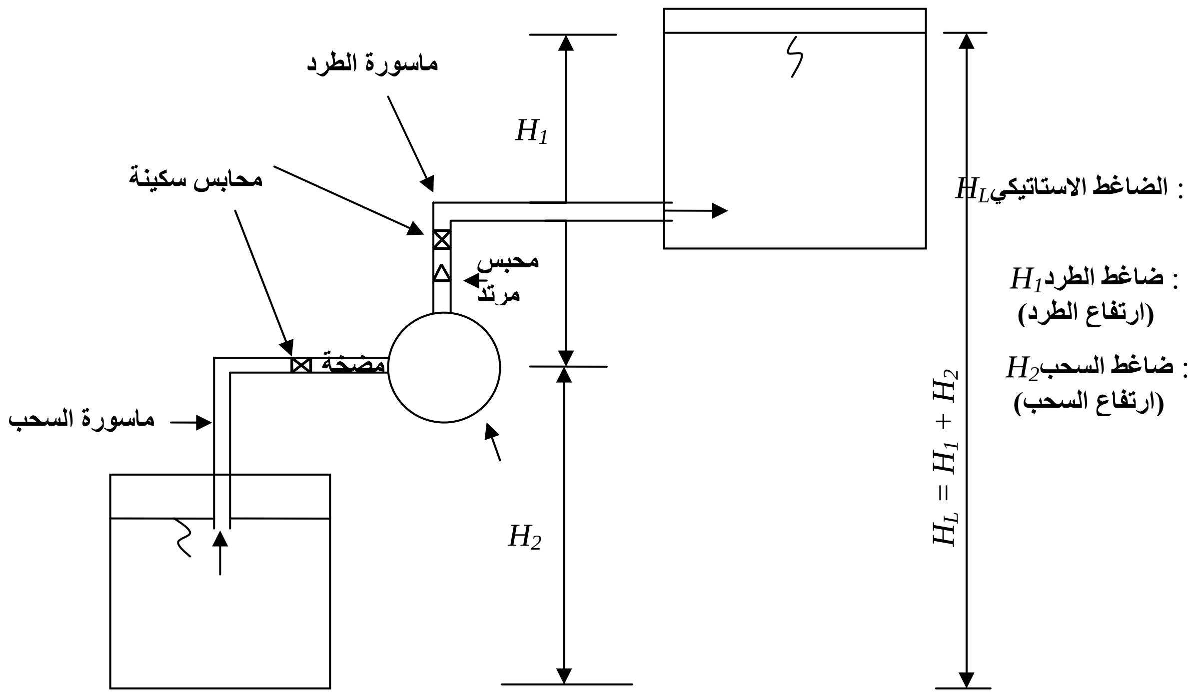
الشكل (٦- ١): مضخات رفع المياه.

٦- ٣ كفاءة المضخات

يتم اختيار نظام تشغيل وحدات الضخ وتصرفاتها بعد دراسة اقتصادية وفنية شاملة، لمقارنة ساعات التشغيل وقوة المضخات وحجم الخزانات العلوية المطلوبة لكل طريقة من طرق التشغيل. ويتم حساب الرفع الكلي للمضخات على أساس الفاقد في أطوال مواسير الشبكة، والضغط المطلوب توافره في جميع أجزاء الشبكة. ويؤثر في ضغط المضخات ارتفاع الخزانات العالية وموقعها بالنسبة لشبكة التوزيع. وتستخدم مضخات ذات قدرة تصرف تتراوح من ١,٩ إلى ٥,٧ م^{٣}/ دقيقة ويفضل استخدام مضخات بقدرة ٢,٨ م^{٣}/ دقيقة أو أكبر بالنسبة للمناطق السكانية التي يتعدى عدد سكانها ١٠٠٠٠ نسمة.

٦- ٤ اختيار المضخات

يراعى في اختيار وحدات الضخ أن يكون الضغط الكلي للمضخة كافياً لرفع المياه من موقع المأخذ إلى وحدات التنقية وإلى الخزانات العليا. وكما هو موضح في الشكل (٦- ٢) يكون الضغط الكلي للمضخة مساويًا للفرق في منسوب المياه بين أدنى مستوى عند موقع المأخذ وسطح المياه في الخزانات أو وحدات التنقية، ويضاف إلى ذلك مجموع الفاقد في مسار المياه.



الشكل (٦- ٢): ضخ المياه إلى خزان علوي.

ويستعمل مصطلح ضاغط (Head) لوصف الطاقة الهيدروليكية الكامنة التي تدفع بالماء إلى المنسوب المطلوب. ولمعرفة مجموع الضاغط الديناميكي (*TDH*: Total Dynamic Head) الذي يجب أن تشغل من أجله المضخة نحسب:

$$TDH = H_L + H_F + H_V \quad (٦- ١)$$

حيث:

- H_L: مجموع الضاغط الاستاتيكي (Total Static Head) وهو الفارق في منسوب المياه بين مستوى المأخذ ومستوى الخزان ويحسب كالتالي:

$$H_L = H_1 + H_2 \quad (٦- ٢)$$

حيث: H_1 ضاغط الطرد (ارتفاع الطرد) و H_2 ضاغط السحب (ارتفاع السحب).

- H_F: مجموع فواقد الضغط الناتج عن الاحتكاك (Total Friction Headloss) ويحسب من معادلة دارسي التالية:

$$H_f = \frac{4fLV^2}{2gD} \qquad (٦- ٣)$$

حيث:

D: قطر خط المواسير

f : معامل الاحتكاك لمادة المواسير

L: طول خط المواسير (ماسورة السحب + ماسورة الطرد)

V: سرعة المياه

g: عجلة الجاذبية

- H_V: ضاغط السرعة (Velocity Head) (يمكن إهماله في بعض الحالات)، وهو عبارة عن الفواقد الثانوية وهي مكونة من جزأين هما:

فواقد المدخل: $\left[\frac{1}{2}\frac{V^2}{2g}\right]$

وفواقد المخرج: $\left[\frac{V^2}{2g}\right]$

وبذلك فإن ضاغط السرعة يساوي:

$$H_V = \frac{1}{2}\times\frac{V^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} = 1.5\frac{V^2}{2g} \qquad (٦- ٤)$$

وتكون قدرة تدفق المياه في المواسير مساوية للناتج الصافي للمضخة (Net output)، ويمكن حساب ذلك باستخدام العلاقة التالية:

$$P_w = KQH \qquad (٦- ٥)$$

حيث:

P_w: قدرة الماء (كيلو وات) (Water Power, kW)

Q : التدفق (م ٣/ دقيقة) (Flow, m^3/min)

H: مجموع الضاغط الديناميكي، بالمتر (Total dynamic head, m)

K: ثابت يتعلق بكثافة السائل وبالوحدات المستعملة. فبالنسبة للماء عند درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية وباستعمال الوحدات (kW, m^3/min, m) يكون K يساوي ٠٫١٦٣.

وتحتاج وحدات الضخ إلى قدرة كافية لضخ المياه بالضغط المناسب في المواسير. ويمكن حساب قدرة المضخات باستخدام العلاقة التالية:

$$P_p = \frac{P_w}{E_p} \qquad (٦-٦)$$

حيث:

P_p: قدرة المضخة (كيلو وات) (Power input to the pump, kW)

P_w: قدرة الماء (كيلو وات) (Water Power, kW)

E_p: كفاءة المضخة (Pump Efficiency)

مثال (٦- ١):

احسب قدرة تدفق الماء وقدرة مضخة صممت لرفع الماء بمعدل ١٫٩ م٣ / دقيقة إلى ارتفاع قدره ٧٠ متر، علماً أن كفاءة المضخة تساوي ٩٠٪.

الحل:

$$P_w = KQH$$

$$P_w = 0.163 \times 1.9 \times 70 = 21.68\,kW$$

$$P_p = \frac{P_w}{E_p}$$

$$P_p = \frac{21.68}{0.9} = 24.9\,kW$$

أسئلة وتمارين:

١. عدد أنواع مضخات الرفع المستخدمة في شبكات توزيع المياه مع توضيح أهمية وضع مضخات الرفع في الشبكة وأماكن وضعها

٢. وضح مع الاستعانة بالرسم كيفية حساب الضغط الكلي للمضخة ثم وضح كيفية حساب قدرة المضخة

٣. مضخة صممت لرفع الماء بمعدل ٢ م^{٣} / دقيقة إلى ارتفاع قدره ٥٠ متر. احسب قدرة تدفق الماء وقدرة هذه المضخة إذ اكانت كفاءة المضخة تساوي ٩٠٪.

٤. احسب الضاغط الكلي لطلمبة مخصصة لرفع المياه إلى خزان علوي ومقاومة فاقد الاحتكاك في المواسير، علمًا أن مقدار عمود السحب ١٠ مر ومقدار عمود الطرد ٦٥ م وقطر ماسورة السحب والطرد ٣٠ سم وطول ماسورة السحب ١٥ م وطول ماسورة الطرد ٧٥ م ومعامل الخشونة للمواسير ٠,٠٠٢ وهي مصنوعة من الحديد الصلب. وإذا علمت أن المضخة صممت لرفع الماء بمعدل ٢ م^{٣} / دقيقة وكفاءة المضخة ٩٠٪ فاحسب قدرة المضخة.

المراجع

١. محمد صادق العدوي (١٩٨٨) " النظم الهندسية للتغذية والمياه والصرف الصحي"، دار الراتب الجامعية، بيروت.

٢. محمود حسان عبد العزيز (١٩٨٢) " أساسيات الهيدرولوجيا "، عمادة شئون المكتبات – جامعة الملك سعود، الرياض.

٣. Chin, David A. (1999), "Water Resources Engineering", Prentice Hall.

٤. Hammer, J. Mark. & Hammer, J. Mark, Jr. (1996) "Water and wastewater Technology", 3rd Edition, Prentice-Hall, inc., New Jersey.

٥. Lin, Shun D. & Lee, C. C. (2001), "Water and Wastewater Calculations Manual", McGraw-Hill Professional.

٦. Mays, Larry W. (2001), "Storm Water Collection Systems Design Handbook", McGraw-Hill Professional.

٧. Mays, Larry W. (1999), "Water Distribution Systems Handbook", McGraw-Hill Professional.

٨. Qasim, Sayed R. (2000), Edward M. Motley and Guang Zhu. "Water Works Engineering Planning Design and Operations", Prentice Hall PTR.

٩. Steel, E. W. & Mcghee, Terence J. (1979), "Water Supply and Sewerage", 5th Edition, McGraw-Hill Inc.

١٠. Streeter, L. Victor & Wylie, E. Benjamin (1979), "Fluid Mechanics", 7th Edition, McGraw-Hill Inc.

١١. Vennard, K. John & Street, L. Robert (1982) "Elementary Fluid Mechanics", 6th Edition, John Wiley & Sons Inc., New York.

المحتويات

الفصل الأول: الموائع

الفصل الثاني : الدراسات الأولية لشبكات توزيع المياه

الفصل الثالث : شبكات توزيع المياه

الفصل الرابع : شبكات تصريف السيول

الفصل الخامس : شبكات الصرف الصحي

الفصل السادس : المضخات ومحطات الضخ